This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

3 3433 06272336 0

Σ 94
14
[illegible] at end

ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

MM.

Cordier, insp. gén., membre de l'Acad. des Sciences, profess. de géologie au Muséum d'hist. naturelle, président.

Dufrénoy, insp. gén., directeur de l'École des mines, membre de l'Acad. des Sciences, prof. de minéralogie au Muséum d'histoire naturelle.

Élie de Beaumont, sénateur, insp. général, membre de l'Acad. des Sciences, professeur de géologie au Collége de France et à l'École des mines.

Thirria, inspecteur général.

Combes, inspecteur général, membre de l'Académie des Sciences, profess. d'exploitation des mines.

Juncker, inspecteur général.

Levallois, inspecteur général.

MM.

Marrot, inspecteur général.

De Boureuille, insp. gén., dir. des mines.

Le Play, ingénieur en chef, professeur de métallurgie.

De Sénarmont, ingénieur en chef, membre de l'Académie des Sciences, professeur de minéralogie.

Piérard, ing. en chef, secrétaire du conseil général.

De Villeneuve, ingén., professeur de législation des mines.

Rivot, ingén., prof. de docimasie.

De Cheppe, ancien chef de la division des mines.

Couche, ingénieur, professeur de chemins de fer et de construction, secrétaire de la commission.

Delesse, ingén., secrétaire-adjoint.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, à M. le secrétaire de la commission des* Annales des Mines, rue du Dragon, n° 30, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des Annales des Mines a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Ce, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT;

RÉDIGÉES

Par les Ingénieurs des Mines,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

CINQUIÈME SÉRIE.

5

MÉMOIRES. — TOME VI.

ASTOR LIBRARY NEW YORK

PARIS.

VICTOR DALMONT, ÉDITEUR,

Successeur de Carilian-Gœury et Vve Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, 49.

1854

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1854.

FRANCE.

GERHARDT. Traité de chimie organique (suite à Berzélius), tomes I et II. — Paris, F. Didot.

L. LUCAS. Chimie nouvelle, avec une histoire dogmatique des sciences physiques. In-8. — Paris, chez l'auteur.

A. BOURGUEGNAT. Guide légal du draineur. In-8. — Paris, chez Mme Bouchard-Huzard.

L. PAGEL. La latitude, par les hauteurs hors du méridien, etc. Opuscule publié aux frais de l'État. — Paris, chez Robiquet.

H. FAYE. Leçons de cosmographie, 2e édition. — Paris, chez Hachette.

J.-B. NOULET. Mémoires sur les coquilles fossiles des terrains d'eau douce du sud-ouest de la France. In-8 de 9 feuilles. — Paris, chez Vve Masson.

A. LAURENT. Méthode de chimie. In-8. — Paris, Mallet-Bachelier.

IVON VILLARCEAU. Sur l'établissement des arches de ponts, envisagé au point de vue de la plus grande stabilité. In-4. — Paris, chez Bachelier.

JOIGNEAUX et MOREAU. Dictionnaire d'agriculture. 2 vol. gr. in-8. Le tome I est en vente. — Paris, chez Dusacq.

DESCRIPTION DES MACHINES et procédés, etc., publiée par les ordres du ministre du commerce. Tome 81, in-4. — Paris, chez Mme Bouchard-Huzard.

DUVERGER. Dictionnaire de droit français à l'usage des commerçants, manufacturiers, industriels, etc. In-8. — Cosson, à Paris.

SMÉE, traduit par VALCOURT. Nouveau manuel complet de galvanoplastie (collection des manuels Roret). 2 vol. in-18.

NOTE sur la situation et l'avenir des compagnies d'éclairage au gaz de la ville de Paris. In-4 de 2 feuilles.

REECH. Cours de mécanique. In-4. — Paris, Vᵉᵉ Dalmont.

BOURGEOIS. Rapport sur la navigation commerciale de l'Angleterre. In-4.

PELTE. Agriculture : nouveau mode d'assolement. In-8. A Metz, chez Lamort.

BARRAL. Mémoire sur l'étamage des épingles. In-8. — Paris, F. Didot.

A. DURAND. Nouvelle théorie physique. In-8. — Paris, chez Baillière.

A. BOBIERRE. Considérations théoriques et pratiques sur l'action des engrais. In-8 de 4 feuilles. — Paris, chez Dusacq.

J. MACQUART. Mémoire sur les insectes nuisibles à l'agriculture. In-8. — Brissy, à Arras.

J. CORNUEL. Mémoire sur la cause des mouvements de rotation et de translation des planètes. In-8. — Martinet, à Paris.

DE LAPELIN. Reconnaissance hydrographique des côtes occidentales du Centre de l'Amérique, exécutée par la corvette *la Brillante*. In-8. — Ledoyen, à Paris.

V. KLEINHOLT. Résumé analytique d'expériences sur la culture et la maladie des pommes de terre. — Lamort, à Metz.

N. BASSET. Traité de la culture et de l'alcoolisation de la betterave. In-8 de 7 feuilles. — Julien, au Mans.

SERRET. Cours d'algèbre supérieure. 2ᵉ édit., revue et augmentée. — In-8. — Bachelier, à Paris.

BOILEAU. Traité de la mesure des eaux courantes. In-4. — A Paris, chez Bachelier, chez Vᵉᵉ Dalmont.

BOUSSINGAULT. Mémoires de chimie agricole et de physiologie. In-8. — Bachelier, à Paris.

H. FARAGUET. Traité analytique du plan et de la ligne droite dans l'espace. In-8. — Bachelier, à Paris.

JULIOT. Instructions sur l'usage de la nouvelle règle à calcul. In-8. — Imp. Morris, à Paris.

H. HOGARD et DOLFUS. Matériaux pour servir à l'histoire des glaciers. In-8 de 2 feuilles. — Silbermann, à Strasbourg.

V. LEGRAND. Mémoire sur les richesses forestières de l'Algérie, considérées au point de vue des constructions navales. In-8. Dupont, à Paris.

TOM RICHARD. Note sur la possibilité de démontrer le mouvement de rotation de la terre par les phénomènes que la force centrifuge produit à sa surface. In-8. — Dumaine, à Paris.

CRUYDENAAR. Bâtiments des stations, et maisons de gardes des chemins de fer. (L'ouvrage formera huit livraisons; quatre sont en vente.) — Bance, à Paris.

VIOLLET-LEDUC. Dictionnaire raisonné de l'architecture française. Tome I. — Bance, à Paris.

DE SAINT-AMANT. Voyages en Californie et dans l'Orégon. In-8. — Maison, à Paris.

BULLETIN de la Société botanique de France. Tome I. Prix annuel, 30 fr. — Imp. Martinet, à Paris.

GASPARIN. Principes de l'agronomie. In-8. — Dusacq, à Paris.

E. LECOUTEUX. Guide du cultivateur améliorateur. In-8. — Dusacq, à Paris.

CONGRÈS SCIENTIFIQUE DE FRANCE. 2e session, tenue à Arras. 2 vol. in-8. — Derache, à Paris.

L. HEBERT. Étude sur les classifications, et en particulier sur la méthode naturelle. — In-4. — Imp. Wittersheim, à Paris.

J. PERSONNE. Histoire chimique et naturelle du lupulin. In-8 de 2 feuilles 1/2. — Imp. Thunot, à Paris.

BRIOT et BOUQUET. Leçons nouvelles de trigonométrie. 2e édit. entièrement refondue. In-8. — Paris, chez Dezobry.

DURAMEFAUT. Sucrage des vendages, etc. In-8. — Paris, chez Mme Bouchard-Huzard.

A. BRAVAIS. Sur les marées observées en 1810, 19 et 40, pendant le voyage de la commission scientique du Nord. 1 vol. in-8.

E. Robert. Voyage en Scandinavie. — Géologie et archéologie, 1 vol. in-8.

G. de Mortillet. Notice sur les combustibles minéraux de la Savoie. — Annecy. 1 vol. in-8.

H. Fournel. Richesse minérale d'Algérie (suite). In-4.

Bollaert et Gosselet. Mémoire sur l'état hygiénique de la ville de Lille au point de vue de l'assainissement des rues, canaux, égouts et de l'approvisionnement des eaux publiques et privées. In-8 de 4 feuilles.— A Paris, chez Vᵉʳ Dalmont.

Vallée. — Cours élémentaire sur l'œil et la vision de l'homme et des animaux vertébrés qui vivent dans l'air. In-8 de 18 feuilles. — Carilian-Gœury et Vᵉʳ Dalmont.

J. Carlet. Géologie et minéralogie de la Côte-d'Or. In-8 de 10 feuilles 1/4 et 3 cartes coloriées.—Paris, chez Vᵉʳ Dalmont.

J. Brassart. Guide pratique pour les irrigations, le drainage et la culture des oseraies. In-12 de 2 feuilles.—Van Elslandt, à Saint-Omer.

H. Stephens, traduit par F. d'Ornalius. Guide pratique du draineur, avec une notice sur le drainage, par M. Leclerc. 1 vol. in-12. — Dusacq, à Paris.

D. de Boulogne. De l'électrisation, et de son application à la physiologie et à la thérapeutique. 1 vol. in-8 de 900 pages.— J.-B. Baillière, à Paris.

Bresse. Recherches analytiques sur la flexion et la résistance des pièces courbes. In-4 de 36 feuilles 1/2. — Vᵉʳ Dalmont, à Paris.

— Notes sur l'agriculture des cantons granitiques du département de la Lozère. In-12 de 9 feuilles. — Bœhm, à Montpellier.

C. Gerhardt. Précis d'analyse chimique qualitative. 1 vol. gr. in-18 de 11 feuilles. — Vᵉʳ Masson, à Paris.

J.-B. Bouillet. Topographie minéralogique du département du Puy-de-Dôme, suivie d'un dictionnaire oryctognostique, etc., 2ᵉ édit. In-8 de 15 feuilles. — Habler, à Clermont-Ferrand.

ANGLETERRE ET ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

DANA. *A system of mineralogy...* Système de minéralogie mis au niveau des découvertes les plus récentes. 2 vol. in-8. — New-York.

LYELL (Sir Charles). *Manual of...* Manuel de géologie élémentaire, 5e édit.

MOSELEY. *Lectures on...* Leçons d'astronomie, 4e édition. — Londres.

J. GALBREATH et P. HAUGHTON. *A series of scientific...* Manuels scientifiques. En publication : Manuels de mécanique, d'optique, d'hydrostatique, de trigonométrie plane. — En préparation : Manuels d'astronomie, d'algèbre, de la chaleur.

FRILD. *City...* Architecture civile. In-8. — New York.

GWILT. *Encyclopædia of...* Encyclopédie d'architecture historique, théorique et pratique. In-8. — Londres.

E. R. HUMPHREYS. *Elements of...* Éléments d'économie politique destinés spécialement aux aspirants aux fonctions publiques. In-8. — Londres.

R. HUNT. *Elementary...* Physique élémentaire. In-8. — Londres.

D. LARDNER. *The electric...* Le télégraphe électrique mis à la portée de tout le monde. In-12. — Londres.

W. FAIRBAIRN. *On the application...* De la fonte et du fer, et de leur application dans les constructions. In-8. — Londres.

H. HOYD. *Notes...* Notes sur la météorologie de l'Irlande, déduites d'observations faites sous la direction de l'Académie royale d'Irlande. 1 vol. in-4. — Dublin.

D. KINNEAR CLARK. *Railway machinery...* Traité de la partie mécanique des chemins de fer. Planches grand in-4 avec texte. L'ouvrage est publié par livraison. 26 liv. ont paru.

ALLEMAGNE, HOLLANDE.

Magnetische... Observations magnétiques et météorologiques faites à Prague. 1 vol. in-4.

Verhanderlingen... Mémoires publiés par la commission chargée de la carte géologique des États néerlandais. 2 vol. in-4. — Harlem.

F. Kolenati. *Die mineralien...* Minéraux de la Moravie et de la Silésie autrichienne. 1 vol. in-8. — Brünn.

Le même. *Zoologie...* Éléments de zoologie. 1 vol. in-8. — Brünn.

J. Forsach. *Handbuch...* Manuel de télégraphie électrique. In-8, 45 pl. — Vienne.

Schweigger. *Umdrehung...* Déplacement des pôles magnétiques du globe terrestre. In-4. — Lille.

J. Weisbach. *Experimental...* Hydraulique expérimentale. In-8. — Freiberg.

H. Credner. *Geognostische...* Carte géologique de la Thuringe. 4 feuilles in-folio avec texte. — Gotha.

M. Becker. *Der strassen und...* Traité de la construction des routes et des chemins de fer. Grand in-8 avec atlas in-folio. — Stuttgart.

ITALIE.

Baldracco. *Cenni...* Essai sur la constitution métallifère de la Sardaigne. 1 vol. in-8. — Turin.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cᵉ, rue Racine, 26.

ANNALES

DES MINES.

RAPPORT

SUR LA PARTIE GÉOLOGIQUE DE L'EXPOSITION DE NEW-YORK.

Par MM. Charles LYELL et J. HALL (1).

(Traduit de l'anglais par M. A. LAUGEL, ingénieur des mines.)

INTRODUCTION.

J'ai été chargé, quand je visitai en qualité de commissaire l'exposition de New-York en 1853, de faire un rapport sur la partie géologique de cette exposition. Je me suis efforcé d'accomplir cette tâche avec tout le soin possible, mais le retard qu'on a mis à exposer et mettre en ordre les produits minéraux et les produits d'art, les cartes géologiques et géographiques, a été cause, au moins en partie, que mon but n'a pas été atteint aussi entièrement que je le désirais. Le rapport général vous a déjà expliqué de quelle manière je suis parvenu à surmonter les difficultés que m'opposait un pareil délai, et fait connaître le concours que

(1) Sir Charles Lyell a demandé que le nom de M. J. Hall fût ajouté au sien dans le titre, comme ayant été son collaborateur pour les *parties géologiques* de ce rapport. (*Note de M. Élie de Beaumont.*)

m'ont libéralement prêté quelques savants éminents des États-Unis. Je saisis cette occasion pour témoigner ici combien je suis particulièrement reconnaissant à mon ami M. James Hall, géologue général de l'État de New-York, pour son assistance pendant ma visite et après mon retour en Angleterre. Nous avions fait ensemble, en 1841, en 1846 et en 1852, plusieurs voyages d'exploration dans plusieurs parties des États-Unis, dans le but d'étudier les traits géographiques et géologiques de la contrée. Dans l'occasion actuelle, la connaissance plus intime que possède le professeur Hall de la géologie des États de l'Ouest et l'expérience qu'il a acquise de tout ce qui concerne les applications économiques de la science qu'il cultive m'ont aidé à compléter une tâche que, sans son aide, j'eusse à peine pris sur moi d'entreprendre.

CLASSE I. — MÉTAUX ET PRODUITS MINÉRAUX.

La classification des divers produits dans le palais de cristal de New-York a été presque toujours la même que celle qu'on avait adoptée à Londres en 1851 : nous avons donc à rendre compte tout d'abord de ceux qu'on a rangés sous la rubrique : « Métaux et produits minéraux. » L'association de New-York pour l'exposition universelle de l'industrie déclarait dans son prospectus que son intention était de ranger les objets appartenant à cette classe dans un espace réservé, une telle exposition étant propre à fournir des informations pareilles à celles qu'on tire de l'inspection de cartes géologiques et minéralogiques, et ayant en même temps l'avantage de mettre sous les yeux les échantillons mêmes provenant de chaque mine et de chaque région

minérale. Cette intention a été remplie, en grande partie du moins, sous la haute direction de M. le professeur Silliman junior. Quand on considère l'immense territoire occupé par les États-Unis, l'état naissant de la plupart des exploitations de mines, la difficulté de faire concourir à une telle œuvre les personnes qui pourtant y ont l'intérêt le plus direct, on est plus surpris de la quantité et de la variété des objets exposés que disposé à relever des lacunes dans une collection organisée et classée en quelques mois seulement.

Produits de mines. — Les produits de mines qui forment le trait le plus frappant de l'exposition consistent en différentes variétés de charbon de terre et en métaux, tels que fer, plomb, cuivre, zinc et or. La houille et les minerais de fer proviennent principalement du district oriental ou des Alleghanys; le plomb, du calcaire et des autres roches siluriennes, et des formations métamorphiques; le zinc, des roches métamorphiques de New-Jersey; et le cuivre, des régions métamorphiques de l'est des États-Unis, mais spécialement de la région des grès et trapps du lac Supérieur, dont l'âge a été récemment l'objet d'une grande dissidence entre des géologues éminents.

Cartes et plans géologiques. — C'est ici l'occasion de mentionner les cartes géologiques qui ont été publiées à différentes époques, parce qu'elles donnent comme une vue générale des divers districts qui ont fourni les produits de toute espèce utilisés par l'industrie, l'architecture, les constructions, l'agriculture. Parmi ces cartes, les unes sont le résultat de travaux, publiés ou non, entrepris par différents États et par le gouvernement central; d'autres ont un caractère plus général et résument, outre les informations géologiques fournies par les études dont nous venons de parler, les ré-

sultats nouveaux obtenus à l'aide de recherches personnelles.

Ces cartes, avec les sections et plans qui les accompagnent, n'ont été que médiocrement représentées à l'exposition; mais je ne puis me dispenser de parler des plus importantes d'entre elles : on comprendra ainsi plus aisément la position géographique des produits minéraux de la contrée.

Pendant les vingt dernières années on a commencé vingt cartes géologiques qui ont été terminées dans huit États seulement : ceux de Massachusets, de Rhode Island, du Connecticut, de New-Hampshire, de New-York, de New-Jersey, du Delaware et de la Caroline du Sud.

Pendant la même période, des études géologiques préparatoires ont été exécutées par ordre législatif et poussées plus ou moins loin dans quinze États : Maine, Vermont, Pensylvanie, Maryland, Virginie, Caroline du Nord, Géorgie, Alabama, Tennessee, Michigan, Ohio, Indiana, Illinois, Missouri.

Ces études sont actuellement poursuivies dans la Pensylvanie, la Caroline du Nord, l'Alabama, l'Illinois, le Wisconsin et le Missouri. Elles ont été suspendues dans les autres États après la publication d'un ou plusieurs rapports sur l'avancement des travaux. Dans tous les États où les études sont achevées, nous avons des cartes géologiques; et dans l'Alabama, bien qu'elles ne le soient point, on a publié une carte géologique en même temps que le premier rapport bi-annuel.

Différents travaux et reconnaissances, entrepris par le gouvernement des États-Unis dans un but différent de celui qui nous occupe, ont néanmoins contribué à jeter du jour sur la constitution géologique des régions qui en ont été l'objet. Le gouvernement central a aussi

récemment ordonné l'exploration géologique de l'état d'Orégon : et l'on a terminé celle du lac Supérieur et du district de Chippewa. MM. Foster et J. D. Whitney ont publié en 1851 une carte géologique du bord méridional du lac Supérieur et de la péninsule septentrionale du Michigan, et incidemment d'une partie des territoires adjacents : cette carte forme comme un lien naturel qui fait voir de la manière la plus satisfaisante la liaison qui existe entre les deux grandes formations orientale et occidentale des États du Nord. Les travaux du docteur D. D. Owen, dans le district de Chippewa, publiés en 1852, nous ont fourni une carte géologique de Wisconsin, Minnesota, Iowa et d'une partie du Missouri.

Quoique ces études préparatoires soient loin d'être complétées dans les divers États, les rapports qu'on publie sur leur avancement et les informations fournies par des recherches individuelles, permettent de tracer avec une suffisante certitude les limites des diverses formations géologiques dans la partie des États-Unis située à l'est des montagnes rocheuses, et même sur une certaine étendue de leur lisière occidentale. Parmi les cartes géologiques faites par des particuliers, qu'ils aient ou non profité des études ordonnées par le gouvernement, mentionnons une carte géologique de la Caroline du Nord par le professeur Mitchell, publiée en 1842 ; une carte géologique des États de l'Ouest, par le docteur D. D. Owen, publiée dans le *Quarterly*, journal de la Société géologique de Londres, en 1842 ; une carte du même pays, par Byram Lawrence, en 1842 ; une carte géologique des États du Centre et de l'Ouest, par James Hall, publiée dans les Rapports géologiques de New-York en 1843 ; la carte géologique des États-Unis et du Canada, par M. Charles Lyell, 1845 ; une partie du Canada et de l'État de New-York, par

M. W. S. Logau dans le journal de la Société géologique, en 1852; une carte géologique des États-Unis et des provinces anglaises, par Jules Marcou, et une autre par le professeur Hitchcock, en 1853.

En consultant les Rapports des divers États et les cartes qui les accompagnent, aussi bien que les cartes plus générales où ces observations éparses ont été réunies et mises en ordre, nous n'aurons pas de difficulté à rapporter à leur véritable position géologique tous les matériaux envoyés à l'exposition.

Il est extrêmement regrettable que pendant qu'on était occupé de ces études géologiques, l'on n'ait point adopté en même temps un système de triangulation qui eût permis de poursuivre d'un commun accord les explorations topographique et géologique. Il résulte évidemment de là que les cartes géologiques ne peuvent pas présenter dans le détail les limites exactes et les contours précis des diverses fonctions, non plus que les traits physiques qui ont été imprimés au pays par les agents géologiques.

GÉOLOGIE GÉNÉRALE ET GÉOGRAPHIE PHYSIQUE.

Introduction. — Les caractères généraux géographiques et géologiques des États-Unis exercent, là comme ailleurs, une influence puissante sur les industries qui s'y développent, et sur les ressources des différentes parties de l'Union. Mais l'immense rayon où elle s'exerce, et la grande étendue de certaines formations liées à des produits particuliers et vouées à des industries spéciales donne aux États-Unis une physionomie différente sous beaucoup de rapports de celle de toute autre contrée du globe. Les plaines immenses et non interrompues qui se prêtent par-dessus tout à l'agriculture, sont presque entièrement dépourvues de productions

minérales importantes et ne fournissent que du calcaire et des matériaux ordinaires de construction. Certaines portions de la contrée se trouvent ainsi placées très-loin des produits qui fournissent à l'industrie ses éléments, et restent privées pour cette raison des avantages que leur offre la nature. Sur d'autres espaces, d'une grande étendue, une grande richesse minérale, jointe aux autres conditions favorables à l'industrie manufacturière, se combine avec un sol excellent. Ailleurs, des districts riches en productions minérales occupent les confins extrêmes de la partie habitée du pays : d'autres enfin, trop éloignés et inaccessibles, sont demeurés encore vierges; mais peu à peu leur richesse est ajoutée à la richesse nationale, et les nouveaux établissements pénètrent rapidement à l'intérieur de ces régions destinées à devenir un jour riches et populeuses.

Dans les conditions actuelles d'une contrée telle que les États-Unis, il serait impossible de présenter à présent, dans une exposition ou un rapport, plus qu'une esquisse approchée de ses ressources industrielles. Les exploitations de mines sont, pour la plupart, dans l'enfance, et il y a des régions où l'on découvre chaque jour de nouvelles richesses minérales. Néanmoins, aussi longtemps que de vastes territoires d'une grande fertilité demeureront inoccupés, que la population restera éparse et la main-d'œuvre coûteuse, on ne peut pas espérer que les mines et les manufactures perdront le développement que les besoins du pays peuvent exiger. Les contrées les plus riches pour l'agriculture seront occupées les premières, et celles qui ne l'attireront pas aussi puissamment resteront pendant longtemps relativement inconnues.

En exceptant les mines de houille et de fer, et nous

pourrions peut-être ajouter maintenant, de cuivre et de plomb, les exploitations ont été plutôt le fruit du hazard ou de l'esprit de spéculation, que le résultat d'efforts systématiques destinés à mettre en œuvre les ressources minérales du pays; aussi, dans la grande portion de la partie des États-Unis où l'on peut rechercher des richesses minérales et dont on a simplement reconnu les traits géologiques principaux, on ne connaît véritablement que quelques localités privilégiées ou que le hasard a fait découvrir.

Les travaux d'études géologiques et minéralogiques ont eu le plus souvent pour but de déterminer les limites des formations, et d'indiquer d'une manière générale les minerais et les métaux précieux qu'on y rencontre. Les personnes chargées de ces travaux n'ont pas eu à examiner chaque district assez en particulier pour noter tous les gîtes exploitables, à moins qu'ils ne constituent un trait important de la stratigraphie de la contrée.

Les études privées entreprises pour exploiter des mines ont été généralement limitées à une localité particulière et un espace restreint, et les rapports auxquels elles ont donné lieu vont rarement au delà de l'objet immédiat des investigations, c'est-à-dire de la valeur actuelle ou future de la région examinée.

En ce qui concerne les mines, en exceptant la houille et le fer, nous pouvons dire néanmoins que les données générales les plus valables que l'on possède revêtent un caractère négatif. Il est bien établi que certains espaces très-étendus, sont, par la nature même de leur nature géologique, dépourvus de tous produits minéraux importants. Théoriquement, nous sommes prêts à aller plus loin et à déclarer, qu'à l'exception d'un certain territoire comprenant une partie de l'Illinois, du Wisconsin et de l'Iowa, où l'on sait qu'il existe du

plomb, on ne peut rechercher avec succès des gisements d'or, d'argent, de cuivre, de plomb, de zinc et d'autres métaux que dans certaines roches ignées et métamorphiques, dont les limites et l'étendue sont parfaitement établies.

Nous connaissons donc l'espace réservé aux exploitations de mines dans l'avenir : mais leur état actuel ne donne aucune idée exacte de l'importance que doit prendre un jour cette part de l'industrie nationale. L'expérience qu'apportent, chaque année, les progrès opérés dans cette direction, prouve d'une manière concluante sur quelle large base repose la richesse minérale des États-Unis.

Quelques mots suffiront à faire comprendre les caractères physiques et géologiques des États-Unis de l'Est (1). De leur extrémité nord-est, et dans la direction de sud-ouest jusque vers le golfe du Mexique, s'étend comme une ceinture une contrée haute ou montagneuse, plus ou moins fracturée, qui s'élève parfois à plus de 6000 pieds au-dessus du niveau de la mer. Sur toute sa longueur elle présente des traces évidentes d'un soulèvement qui s'est opéré parallèlement à la direction que suit la chaîne de montagnes. Cette région occupe à peu près toute la surface de la Nouvelle-Angleterre, et ses découpures présentent d'excellents abris aux vaisseaux tout le long des côtes. La chaîne traverse l'État de New-York sous le nom de *High Lands*, et s'écarte graduellement de la côte en avançant vers le sud, et en laissant ainsi une ceinture de formations plus récentes, de plus en plus large entre son versant et l'Atlantique. Les États-Unis sont limités

(1) Nous appelons ainsi ceux qui sont situés à l'est des monts Appalachiens.

au nord par le cours du St-Laurent et les grands lacs; mais nous n'avons qu'à dépasser un peu cette limite pour rencontrer une chaîne de montagnes qui court parallèlement au Saint-Laurent jusqu'au lieu où il prend sa source dans le lac Ontario; elle se dirige ensuite vers l'ouest et, pénétrant en quelques endroits au delà des limites géographiques de l'Union, s'étend, sauf de rares interruptions, jusqu'aux montagnes Rocheuses. Cette dernière chaîne a une direction générale vers le sud et atteint les limites méridionales des États-Unis vers le 10e degré de latitude. Le grand bassin, ou plutôt la plaine qui est entourée par ces rangées de montagnes, et qui s'ouvre au sud sur le golfe du Mexique, est, sauf de rares exceptions, occupée par des couches stratifiées qui n'ont subi aucun dérangement et qui ne présentent, dans leur longue étendue, que de légères déviations de leur position primitivement horizontale. A l'ouest de la grande chaîne de l'est, ou chaîne Appalachienne, nous trouvons une vaste étendue de formations anciennes, depuis les terrains primitifs jusqu'au terrain carbonifère. Ces formations s'étendent, dans leur plus grande largeur, de la vallée de l'Hudson jusqu'au delà des *Council Bluffs* sur le Missouri, ce qui répond à 22 degrés de longitude. Plus au midi, leur largeur est considérablement réduite, et elles se terminent par une ligne continue au nord de l'état d'Alabama. Du nord au sud, elles s'étendent sans interruption sur près de 15 degrés de latitude, soit, depuis le bord méridional du lac Supérieur, latitude 47° 50′, à la latitude 33°. En ne tenant pas compte de petites surfaces qui ne se rattachent pas directement à cette grande plaine, on voit quelle immense étendue est remplie aux États-Unis par les formations palæozoïques. Dans ce vaste territoire, il ne

sera pas superflu de remarquer que près de la moitié de l'espace total est occupé par les couches de houille de la période carbonifère.

Le terrain crétacé et les terrains tertiaires bordent le versant oriental de la chaîne Appalachienne, et forment une large ceinture ou plutôt un plateau le long de la côte de l'Atlantique et du golfe du Mexique. Ces formations pénètrent dans le Texas, puis, se dirigeant vers le nord, forment une vaste zone entre la limite occidentale des formations paléozoïques et les montagnes Rocheuses.

On voit quelle simplicité présentent les traits généraux de cette vaste contrée, dont la description détaillée exigerait néanmoins des volumes.

Au milieu de la formation crétacée du Texas s'élève une montagne isolée formée par des roches primitives ou métamorphiques, entourée par des roches de l'âge peléozoïque (*Voyez* Rœmer, *Terrain crétacé du Texas*). On trouve dans l'Arkansas une bande étendue qui présente les mêmes caractères, près de la jonction des terrains paléozoïque et crétacé; et le Missouri nous offre de même, au milieu des couches siluriennes et carbonifères, des montagnes de roches anciennes métamorphiques.

Les limites que nous venons de tracer et la nature des formations géologiques qu'elles embrassent doivent nous servir à déterminer les ressources que présentent les États-Unis, soit à l'agriculture, soit à l'industrie minérale.

Quand on considère la barrière montagneuse qui borde vers l'est la grande plaine centrale et occidentale, il ne faut point s'imaginer qu'on ne puisse y parvenir qu'à l'aide de routes difficiles, ni que la contrée qui s'étend à l'ouest présente une surface dont la mono-

tonie n'est jamais interrompue. Presque toute la frontière septentrionale est occupée par une suite de grands lacs, où les plus grands bateaux à vapeur et vaisseaux peuvent naviguer, et qui présentent, seulement dans les États-Unis, une ligne de côtes de près de 3,000 miles de longueur (sans parler de plus petites baies et de petites rivières qui communiquent avec eux). La jonction établie entre ces lacs et avec l'Atlantique rend les relations entre la côte et les contrées éloignées de l'intérieur aussi faciles qu'entre des villes maritimes qui seraient situées à la même distance.

Les portions occidentales et centrales de cette grande surface sont traversées par des rivières navigables dont les larges embouchures au sud, sur le golfe du Mexique, semblent appeler à elles le commerce et la navigation. Au nord-est, les bassins de ces rivières sont reliés par des canaux à ceux des grands lacs, et de nombreux chemins de fer traversent tout le territoire à l'est du Mississipi, et s'étendent bientôt jusqu'aux montagnes Rocheuses.

On concevra aisément que si l'on veut se rendre compte des ressources industrielles d'un pays si étendu et si nouveau, on acquerra une idée plus juste de sa richesse en étudiant les principaux caractères physiques et géologiques qu'en examinant dans une exposition des collections de roches et de minerais. Nous croyons donc nécessaire de faire précéder la liste spéciale des produits minéraux par une rapide esquisse des principales formations géologiques, et d'indiquer successivement leurs traits caractéristiques, leur étendue géographique et leurs produits.

On peut énumérer dans l'ordre suivant les formations géologiques des États-Unis, soit qu'elles fournissent des matériaux exploitables, soit qu'elles impriment un ca-

ractère spécial à la portion du pays qu'elles recouvrent : nous omettrons, bien entendu, les subdivisions dont on trouvera le détail dans les rapports géologiques des divers États :

Alluvions et drift;
Terrain tertiaire ;
Terrain crétacé ;
Terrain jurassique ;
New red sandstone (trias ?) ;
Couches de houille ;
Calcaire carbonifère, et autres roches inférieures aux couches de houille ;
Old red sandstone ou terrain dévonien ;
Silurien supérieur ;
Silurien inférieur ;
Roches cristallines ou métamorphiques de la chaîne Appalachienne, dont il est facile d'établir le rapport avec la période paléozoïque ;
Roches anciennes métamorphiques ou cristallines ;
Roches trappéennes.

ALLUVIONS ET DRIFT.

Les dépôts superficiels qu'on rapporte au drift sont distribués sur presque toute l'étendue des États-Unis. Ils sont ordinairement caractérisés par la présence de grands blocs erratiques ; mais dans beaucoup de cas ils manquent ou restent invisibles sur de larges étendues, où la contrée est recouverte par une puissante couche de matériaux remaniés par les eaux. Dans les régions montagneuses, le dépôt superficiel reposant près des roches anciennes ne présente aucune stratification, et des fragments de toute dimension, plus ou moins usés, sont confusément assemblés ; tandis que dans une grande partie de la vaste plaine qui s'étend à l'ouest des Alleghanys, le dépôt est stratifié plus ou moins régulièrement, et il s'y est opéré une sorte de

séparation entre les éléments. Partout, en fait, des matériaux de transport couvrent la surface des roches anciennes sous-jacentes. Dans toutes les localités les formations anciennes présentent les traces évidentes d'une puissante action érosive, et dans le nord des États-Unis où les blocs erratiques sont abondants, comme dans le sud, où les matériaux sont moins volumineux, les résultats sont d'une nature semblable et semblent devoir être rapportés à l'action d'un agent commun.

Nous n'avons pas à nous appesantir ici sur les diverses modifications que ces dépôts ont subies ultérieurement; car nous n'avons qu'à examiner les caractères généraux de la contrée en relation avec les circonstances économiques qu'ils ont créées.

En règle générale, dans les États du nord et du centre de l'Union, le caractère de ce drift dépend de la nature des couches immédiatement sous-jacentes ou situées plus au nord à une petite distance. Bien que des blocs erratiques, provenant des montagnes du nord, puissent être observés à un ou deux cents miles de leur origine, on ne peut néanmoins supposer qu'une proportion considérable de la masse superficielle ait subi un transport aussi considérable. Ce n'est que le long de quelques vallées ou thalwegs que de grandes quantités de matériaux, usés par les eaux, ont été transportés vers le sud. La surface qu'ils occupent est petite quand on la compare à celle qui est recouverte par des matériaux qui sont en relation avec des roches très-voisines. S'il en était autrement, ou s'il était vrai que les agents qui ont transporté ces matériaux vers le sud eussent été aussi puissants qu'on le suppose quelquefois, on ne saurait légitimement chercher à rendre compte de ce fait par l'influence du sous-sol géologique. Ce n'est que dans des districts montagneux très-restreints qu'on

peut attribuer à cette influence une valeur qu'alors même on peut à peine exagérer : mais c'est sur toute la surface des États-Unis que les caractères du sol sont en rapport avec la nature de la roche qui lui sert d'appui. Ce dépôt superficiel, quand il n'a pas été dérangé et repose sur les roches anciennes qui en ont fourni les éléments, contient ordinairement une grande quantité de matériaux grossiers : des changements ultérieurs, produits par des courants plus ou moins violents, ont modifié leurs conditions primitives, ont séparé les éléments et opéré parmi eux une stratification régulière. Durant une période encore plus récente, des eaux ont séjourné dans les petites dépressions de la formation ; une riche végétation y prit naissance, et les débris de sa décomposition ont été conservés dans des marécages avec des os d'animaux, des coquilles et autres débris fossiles. Les eaux marines ont aussi envahi la formation et déposé du sable, de l'argile et des débris organiques qui se sont mélangés avec les matériaux accumulés du drift.

Produits exploitables du drift et des alluvions.

Or. — Ce métal, le seul précieux qui se rencontre dans cette formation, provient de la destruction de certaines roches métamorphiques aurifères. Dans les États-Unis de l'Est, le drift aurifère est en relation avec une série ou un groupe de roches métamorphiques subcristallines, qu'on pourrait appeler roches nouvelles métamorphiques, que nous décrirons sous ce nom dans notre Rapport. Ce drift s'étend sur la formation même d'où il dérive ; on le trouve sur la limite nord des États-Unis, dans le Vermont et le New Hampshire, le long des montagnes vertes ; il traverse la partie sud de l'État de New-York, et s'étend sur le versant oriental de la

chaîne Appalachienne jusqu'en Géorgie et dans l'Alabama.

On y trouve des quantités d'or considérables en Géorgie, dans la Caroline du Sud, la Caroline du Nord et la Virginie : il n'a pas été exploité plus au Nord, dans les limites des États-Unis, mais il a longtemps attiré l'attention dans le Canada, et une quantité d'or très-importante a été obtenue à l'aide de lavages sur les bords de la rivière de la *Chaudière*. En Californie, le drift ou l'alluvion aurifère dérive de roches du même caractère métamorphique, et probablement du même âge. Ces sables et cailloux aurifères sont étendus sur une très-grande surface : on voyait, à la collection de l'exposition, des échantillons d'or provenant de près de 200 localités pour la Californie seulement.

Cuivre. — Ce métal, qui se rencontre à l'état natif ou dans quelques-uns de ses minerais ordinaires dans le drift, n'a jamais été trouvé en quantité suffisante pour être exploité.

Minerai de fer. — Des sables avec fer magnétique accompagnent généralement le drift dans le voisinage des chaînes de montagnes ; mais on n'a point cherché à utiliser ce minerai. Le fer limoneux est plus répandu, mais ce n'est que dans peu d'endroits qu'il est en assez grande quantité. L'hématite, si abondante à la base des Alleghanys et en d'autres localités, est parfois, à ce qu'il paraît, associée à des argiles de cette formation. Plusieurs échantillons de diverses provenances se trouvaient à l'exposition.

Sables argileux. — Propres à la briqueterie et à la poterie grossière, sont extrêmement répandus ; on en fait tous les ans des millions de briques. Le fer contenu dans l'argile leur donne ordinairement une couleur rougeâtre ; mais dans le Wisconsin, surtout aux envi-

rons de Milwaukie, on fait avec ces argiles des briques d'une couleur grise ou jaunâtre qui sont si estimées qu'on les transporte à plusieurs centaines de milles.

Tourbe et marne coquillière, etc. — Dans un petit nombre de districts de la Nouvelle-Angleterre, la tourbe est utilisée comme combustible; mais, en général, on s'en sert très-peu dans ce but aux États-Unis. Le dépôt tourbeux de beaucoup de contrées marécageuses est très-estimé comme engrais, et employé en même temps qu'une marne coquillière formée aux dépens de mollusques, dont les espèces sont encore vivantes. Quelquefois on rencontre des couches alternatives de tourbe et de cette marne sur des terrains marécageux d'une grande étendue. Cette marne est un mélange de petites coquilles avec du carbonate de chaux en grains ou pulvérulent, déposé par des sources qui prennent naissance dans des formations calcaires, ou des eaux qui ont traversé le drift ou l'alluvion, et dissous les matières solubles qu'elle renferme. Dans les endroits où le drift contient des cailloux en abondance, on s'en sert pour construire avec du ciment des murs, et même des maisons et d'autres constructions. En beaucoup de points, le drift ou les dépôts coquilliers qui le recouvrent sont très-puissants, et ne peuvent fournir de bons matériaux de construction; ces larges cailloux et les blocs erratiques deviennent alors d'une grande importance pour les habitants du district.

Exposition. — Les spécimens qui représentaient cette formation à l'exposition consistaient principalement en or natif provenant de deux cents localités de la Californie et de quelques autres endroits, un bloc de cuivre natif du Wisconsin, du fer limoneux, de l'ocre, de la marne, des échantillons de sols, etc.

FORMATIONS TERTIAIRES.

Les formations tertiaires proprement dites consistent en couches marines, littorales et lacustres, argiles de toute espèce, lits calcaires et arénacés et mélanges divers des matériaux précédents. Ces couches, qui contiennent des débris nombreux de coquilles, de polypiers, de plantes, d'animaux terrestres et de coquilles d'eau douce, sont très-développées aux États-Unis. Elles prennent naissance à l'extrémité nord-est du Maine, en y comprenant les dépôts de la vallée du lac Champlain et du Saint-Laurent; elles s'étendent ensuite au sud-ouest et prennent leurs caractères les mieux définis dans le New-York; puis, se prolongeant au sud et au sud-ouest, occupent la zone qui s'étend entre l'Atlantique et le pied des montagnes. Les mêmes formations continuent à se développer au sud et à l'ouest, et, s'infléchissant au pied méridional des Highlands, s'étendent au loin sur la partie sud de la Géorgie, d'Alabama, du Mississipi et sur une grande partie de la Louisiane et du Texas, tout le long du golfe du Mexique. Au nord du Texas, les formations tertiaires suivent la base des montagnes Rocheuses, et forment une large ceinture bordée des deux côtés par le terrain crétacé. Les dépôts tertiaires atteignent même les sources du Missouri et se perdent dans les interminables prairies de cette région connues sous le nom des *Mauvaises Terres*.

A l'ouest des montagnes Rocheuses, entre cette région et la sierra Névada, le capitaine Fremont et le capitaine Stransbury ont trouvé des fossiles tertiaires dans des localités très-éloignées, ce qui permet de croire que cette formation est largement développée dans cette partie du continent. Les dépôts tertiaires sont égale-

ment très-étendus sur les côtes occidentales, ainsi que Dance et d'autres nous l'ont appris (voyez *Exploration des États-Unis*, géologie, par T.-D. Dance) ; mais on n'y a pas encore étudié la formation avec détail.

Produits exploitables dans le terrain tertiaire.

Hématite brune et minerai de fer ocreux. — On sait depuis longtemps qu'on trouve aux États-Unis une bande continue depuis le Canada jusqu'à l'Alabama, contenant de l'hématite, de l'ocre, etc., et des argiles d'un caractère particulier. Ces minerais ont été rapportés à un dépôt aqueux ou marin, et considérés comme ayant été formés aux dépens des couches sous-jacentes par l'action de sources thermales. La découverte d'une couche de lignite, associée à ces argiles et minerais, a conduit le professeur Hicthcock à les rapporter à la période pliocène; mais les données qui doivent servir à établir leur âge précis sont encore incomplètes.

L'hématite est ordinairement compacte, fibreuse, stalactiforme, et toujours plus ou moins enveloppée par des argiles de couleur variée. Dans la Nouvelle-Angleterre, cette formation repose sur le flanc occidental des montagnes Vertes et surmonte un calcaire métamorphique, associé plus ou moins avec des schistes talqueux ou micacés. Le fer provient sans doute de ces couches, et en a été retiré par l'action de sources thermales lors du dépôt des argiles.

En Pensylvanie, ces minerais remplissent les dépressions ou fissures de calcaires siluriens qui n'ont subi aucune altération, et sont associés à des argiles ou enveloppés par elles; tandis que, plus au sud, les hématites sont encore associées à des roches métamorphiques.

Ce dépôt est un des gîtes les plus importants et a été

exploité le premier dans le pays; il fournit un excellent minerai facile à traiter.

Des échantillons de minerai et de fer ont été présentés par les États de Vermont, Massachussets, New-York, New-Jersey, Connecticut, Pensylvanie et Maryland.

Manganèse.— De l'oxyde blanc de manganèse se rencontre dans beaucoup de localités avec le minerai de fer ci-dessus mentionné. On le trouve à Brandon et Bennington, en Vermont, en abondante quantité. L'oxyde blanc de manganèse, provenant de quelques localités du sud, appartient probablement à cette formation.

Combustibles fossiles.— Un banc de lignite est associé avec l'hématite et les argiles réfractaires à Brandon, en Vermont, et est utilisé comme combustible. On a trouvé des lignites en différentes autres localités, spécialement à l'ouest des montagnes Rocheuses et sur les côtes de l'océan Pacifique.

Les seuls échantillons de l'exposition étaient ceux de Brandon, en Vermont.

Argile réfractaire et terre à porcelaine. — On trouve du kaolin et des argiles de couleur variée, plus ou moins pures, tout le long du versant occidental des montagnes Vertes. On les utilise dans les briqueteries et pour les poteries grossières. Ces argiles sont blanches ou colorées en jaune par du fer, en rose par du manganèse. On connaît des argiles de même caractère dans plusieurs localités de New-Jersey.

Une autre variété, peut-être d'un âge un peu plus ancien, existe en plus grande abondance dans cet état. On la trouve aux environs de South-Amboy; elle est connue sous le nom d'*argile à poterie*, et alimente la plupart des fabriques des États-Unis. Elle est associée à des lits d'argile bigarrée et de sable. On se sert aussi de ces argiles pour faire des briques réfractaires.

Les échantillons provenaient de Brandon, Vermont; New-Garden, en Pensylvanie, avait envoyé des kaolins et des briques réfractaires.

Marne coquillière et glauconie. — Dans les États de New-York, de Maryland, de Virginie et plus loin vers le sud, des marnes coquillières contenant parfois de la glauconie sont employées comme engrais.

Matériaux de construction. — Dans cette formation, le sable, l'argile, la terre à briques remplacent les bonnes pierres de construction. On rencontre bien en quelques points un grès grossier et friable, mais on ne peut s'en servir pour les constructions de longue durée, comme l'ont trop appris le Capitole de Washington et quelques autres constructions.

TERRAIN CRÉTACÉ.

Le terrain crétacé dans la partie orientale des États-Unis apparaît d'abord dans l'état de New-Jersey, où on l'a reconnu depuis longtemps et où les fossiles les plus caractéristiques de la craie ont été découverts par M. Morton. Il occupe une longue étendue dans le New-Jersey et dans le Delaware; en suivant les sinuosités du terrain tertiaire, il apparaît à divers intervalles dans la Virginie, les Carolines du nord et du sud, où les dénudations du terrain tertiaire l'ont mis au jour. Il traverse ensuite le nord de la Géorgie, le centre d'Alabama, le Mississipi, et se dirige vers le nord le long des roches paléozoïques jusqu'au point où l'Ohio entre dans l'état d'Illinois; de là il s'étend à l'ouest du Mississipi en suivant la direction des couches paléozoïques à travers l'Arkansas, et prend une grande largeur dans le Texas. Dans leur étendue totale, les dépôts crétacés occupent du nord au sud plus de 22 degrés, depuis le tropique du Cancer jusqu'au 48e degré de latitude nord.

Produits exploitables et caractères agricoles.

On n'avait envoyé à l'exposition aucun produit appartenant à cette formation.

La glauconie, le sable vert ou, comme on l'appelle ordinairement, la marne de la série crétacée, sont employés sur une vaste échelle par les agriculteurs de l'état de New-York et plus loin vers le sud. Parfois elle ne contient que peu ou point de coquilles fossiles; tandis qu'en d'autres localités, elles sont très-abondantes. Les effets fertilisants de cet amendement sont dus principalement à la potasse qu'il contient et peut-être aussi au sulfate de chaux provenant de la double décomposition du sulfate de fer et du carbonate de chaux opérée par les coquilles fossiles.

Malgré l'immense étendue de la formation crétacée aux États-Unis, on n'y a point découvert de craie véritable. Les lits calcaires, partout où on les a reconnus, ne peuvent servir qu'à fabriquer de la chaux et ne peuvent être employés dans les constructions et l'architecture.

On rencontre dans cette formation de petits dépôts de fer, souvent de pyrite et de phosphate de fer, mais ils n'ont pas assez de valeur pour être exploités.

On trouve aussi de petites quantités de lignite et du bois fossile de différentes espèces. Sur le Missouri supérieur et sur les bords du Yellow-Stone, les lits de lignite sont étendus et seront sans doute un jour exploités.

L'espace occupé par les formations crétacées et tertiaires, entre le Mississipi et les montagnes Rocheuses, est beaucoup plus vaste que toute la zone silurieuse, dévonienne et carbonifère comprise entre les Alleghanys et le Mississipi. Ces formations, qui s'étendent si loin au

delà des dernières, sont certainement destinées à jouer un rôle important dans l'avenir de la contrée. La plus grande partie de cette immense surface est dépourvue de forêts et souvent de buissons; elle est stérile, et les argiles qui se rencontrent dans le terrain crétacé et tertiaire la rendent souvent impropre à la culture. Le climat est si sec qu'en été le sol se brûle et se fend de manière à détruire toute végétation. Quelques points, recouverts par des alluvions, se présentent seuls à l'agriculture, et la plus grande étendue de cette région mérite bien son nom de *Mauvaises Terres*.

TERRAIN JURASSIQUE.

Les formations qui appartiennent à ce terrain, et qui ont été reconnues jusqu'ici, forment une ceinture de 10 à 12 milles de largeur et de 50 mètres de longueur, à l'ouest de Richmond (Virginie), et peuvent être comprises sous le nom de bassin de Chesterfield. Le bassin de la Rivière-Profonde dans la Caroline du Nord est d'une nature semblable, et s'étend, sauf quelques interruptions, presque à travers tout cet État. Ces deux bassins doivent être considérés comme les parties séparées d'une seule et même formation (1). C'est là jusqu'aujourd'hui le seul groupe géologique que l'étude des fossiles ait autorisé à ranger avec certitude dans le terrain jurassique aux États-Unis.

Cette formation repose sur le gneiss ou le granite, et les poudingues et grès de la série ont été formés par les matériaux cimentés de ces roches anciennes. Plus haut,

(1) La question de l'âge de la ceinture non interrompue qui s'étend plus loin à l'ouest et suit la formation de New-Jersey, et celle des terrains de la vallée du Connecticut, ne sont pas encore résolues.

la roche prend les caractères d'un schiste micacé qui, dans ses portions supérieures, devient très-argileux.

Produits exploitables.

Charbon, etc. — Un trait remarquable de cette formation, et qui n'est pas moins intéressant au point de vue économique, est l'existence de plusieurs veines charbonneuses. Elles sont exploitées aux environs de Richmond et près de la Rivière-Profonde, dans la Caroline du Nord. L'épaisseur totale de la formation, en Virginie, est de 800 pieds, et les veines charbonneuses sont concentrées dans les 150 pieds inférieurs. Dans plusieurs endroits, on en trouve deux ou trois; mais dans le bassin de Virginie, au sud de la rivière James, ces différentes veines se réunissent en un vaste lit de 20 à 40 pieds d'épaisseur.

La quantité de charbon extraite de ce bassin, d'après les meilleures évaluations auxquelles nous avons pu arriver, est de plus de 150.000 tonnes par an. Toutes les parties de la formation n'ont pas été encore étudiées dans la Caroline du Nord, et jusqu'à présent d'ailleurs une faible partie seulement du charbon a pu être amenée sur les marchés, par suite du manque de voies de communication. Le transport, néanmoins, va sans doute devenir bientôt plus facile quand on aura terminé la canalisation de la Rivière-Profonde.

Les principaux produits fournis par cette formation consistent en charbon, grès, pierres de construction, etc. Elle n'était pas représentée à l'exposition.

NOUVEAU GRÈS ROUGE, SCHISTES ET CONGLOMÉRATS.

Les conglomérats, grès et dépôts schisteux si bien connus de la vallée du Connecticut, dans le Massachusets et le Connecticut, et le long de la vallée de l'Hud-

son et qui traversent le New-Jersey, la Pensylvanie, la Virginie et la Caroline du Nord, ont été ordinairement rapportés au nouveau grès rouge ou à la période du trias. Dans les deux États que nous venons de mentionner, les dépôts que nous considérons reposent dans des dépressions ou bassins isolés à l'ouest de ceux que nous avons déjà décrits, et en diffèrent par des caractères plutôt négatifs que positifs.

Cette formation a une grande largeur dans le New-Jersey et la Pensylvanie, et diminue graduellement vers le sud-ouest; elle ne forme plus dans le Maryland et le nord de la Virginie qu'une zone étroite, dont la continuité est interrompue dans ce dernier État. Ces bassins isolés sont rangés sur la même ligne que cette ceinture et n'en sont sans aucun doute que des prolongements.

Dans la vallée du Connecticut, on trouve cette formation sur une longueur de 100 milles et une largeur de 10 à 20 milles. C'est dans cette vallée qu'elle a été étudiée avec le plus de soin, et qu'on a trouvé la plus grande partie des fossiles les plus caractéristiques. Les restes organiques consistent en plantes fossiles du genre *voltzia* et autres, en nombreux poissons fossiles; on y trouve aussi des empreintes de pas, dont la plupart paraissent devoir être rapportés à des oiseaux et quelques-uns à des quadrupèdes.

Produits exploitables de la formation du nouveau grès rouge.

Pierres de construction. — Le grès du Connecticut, bien qu'occupant une faible étendue, fournit peut-être actuellement plus de matériaux à l'architecture et aux constructions communes qu'aucune autre formation géologique de la contrée. Cette pierre est envoyée à toutes les cités maritimes des États-Unis et même à l'intérieur des terres.

Ce grès est aussi exploité dans le New-Jersey et sur quelques points, le long de l'Hudson, dans l'État de New-York. La pierre employée pour construire l'église de la Trinité, dans la ville de New-York, est un grès de cet âge de la rivière Passaie, New-Jersey.

Cuivre et plomb. — Les seuls minerais de quelque importance trouvés dans cette formation sont des minerais de cuivre et de plomb. On a trouvé des mines de cuivre en plusieurs endroits dans le Connecticut, mais on n'a réussi à les exploiter qu'avec peu de succès. La plus importante est la mine Simsbury, près de la ville de Grauby (Connecticut). Le minerai est un cuivre silicaté avec de petites quantités de cuivre panaché et de malachite. La mine est abandonnée depuis plusieurs années.

Il paraît que dans l'État du New-Jersey on a trouvé du cuivre en plusieurs points de cette formation; mais, après des essais nombreux et répétés, on s'est décidé à abandonner les exploitations. Les carbonates bleu et vert sont les minerais dominants. Les sulfures gris et bleu, associés à des oxydes rouges, ont été trouvés dans quelques mines, et plus rarement du cuivre natif, du phosphate et silicate de cuivre. Les minerais ne se rencontrent pas en filons réguliers, mais semblent disséminés dans certaines couches de la partie schisteuse de la formation; quelquefois ils forment des amas puissants qui semblent offrir aux exploitations un gage de succès.

En Pensylvanie, dans les couches de Montgomery et Chester, quelques-unes des veines productives de plomb et de cuivre, qui se trouvent à la séparation de cette formation et du gneiss, pénètrent les deux systèmes, tandis que d'autres veines restent exclusivement dans l'un ou dans l'autre. Les localités que nous venons

de mentionner offrent de grandes quantités de minerai de plomb et de cuivre, et, dans quelques-unes des mines, l'exploitation est très-fructueuse. Les veines qui traversent les schistes et les grès paraissent plus riches en cuivre qu'en plomb, et la même veine qui produit surtout du plomb dans le gneiss devient cuprifère dans les roches supérieures.

Les minerais principaux sont le plomb sulfuré, le plomb phosphaté, le sulfure et le carbonate de cuivre (1).

Nous reparlerons de ces minerais quand nous décrirons les roches métamorphiques.

Exposition. — Outre les échantillons de la mine Wheatley, on voyait à l'exposition des fragments et des petits blocs de grès provenant des carrières de Portland, Connecticut, sur la rivière Connecticut, ainsi que de la baryte sulfatée de Cheshire (Connecticut).

TERRAIN HOUILLER OU COUCHE DE HOUILLE.

La série de dépôts sédimentaires ou autres, qui constitue ce qu'on nomme généralement le terrain houiller, présente aux États-Unis les mêmes caractères qu'en Europe. A la base, on trouve ordinairement un grès

---

(1) La mine de Wheatley, où l'on exploite un filon qui pénètre à la fois le gneiss et le grès, a envoyé les matériaux suivants à l'exposition :

Sulfate de plomb cristallisé.	Mélachite verte.
Plomb phosphaté.	Mélachite bleue.
Plomb arséniaté.	Cuivre oxydé blanc.
Plomb molybdaté.	Cuivre natif.
Plomb chromomolybdaté.	Manganèse oxydé.
Plomb arsénio-phosphaté.	Soufre natif.
Sulfure de plomb et argent antimonial.	Argent natif.
Plomb sulfuré.	Quartz cristallisé.
Zinc sulfuré.	Quartz cellulaire.
Zinc carbonaté.	Oxyde de fer avec argent.
Zinc silicaté.	Hématite brune.
Cuivre sulfuré.	Baryte sulfatée.
	Pyrite de fer.

grossier ou conglomérat, à cailloux de quartz. En quelques parties cette roche manque, et ce sont des couches schisteuses avec charbon qui reposent sur le calcaire inférieur. Les couches suivantes consistent en grès à grain plus ou moins fin, parfois en conglomérats ou grès d'une nature analogue, calcaire, houille, argiles réfractaires. L'épaisseur énorme de cette formation, en quelques points, est réellement étonnante, et l'on demeure confondu en songeant aux changements qui ont été nécessaires pour produire la succession de couches d'une nature si différente et d'une pareille puissance.

La grande formation carbonifère des États-Unis constitue l'un de ses traits géologiques les plus frappants, en même temps qu'elle se rattache aux conditions économiques de l'ordre le plus important. La région carbonifère de l'est des Alleghanys se prolonge depuis la limite extrême nord de la Pensylvanie jusqu'au centre de l'Alabama; sa longueur est de plus de 750 milles et sa longueur maximum dépasse 180 milles, sans compter les bassins anthraciteux qui forment des îlots, le long du bord oriental de cette vaste surface, évaluée par le professeur H.-D. Rogers à près de 63.000 milles carrés.

Le grand district occidental, ou, comme on l'appelle généralement, le district de l'Illinois, occupe la plus grande partie de l'état de l'Illinois, ainsi qu'une portion de l'Indiana et du Kentucky. Les derniers travaux du docteur D. D. Owen ont fait voir qu'il s'étend plus loin dans l'Iowa et le Missouri qu'on ne l'avait supposé auparavant.

Il est vrai que sa partie située à l'ouest du Mississipi n'est pas seulement séparée de la partie orientale ou district de l'Illinois par le cours du fleuve; celui-ci, en effet, coule le long d'une douce ligne antéclinale,

dont l'élévation a contribué à séparer les deux portions de la région carbonifère de l'ouest.

Cette portion, située dans l'Iowa et le Missouri, occupe un espace dont la partie qui est à l'est du Mississipi n'égale que les deux tiers. Suivant l'opinion de M. Hall et d'autres géologues marquants, ce district houiller s'étend beaucoup plus loin, vers le sud-ouest, que les limites, aujourd'hui encore restreintes, des explorations géologiques faites avec soin, bien qu'il ne dépasse point sans doute le parallèle des régions siluriennes et métamorphiques qu'on rencontre au sud du Missouri.

Sa plus grande étendue du sud-est au nord-ouest, ou des sources de la Rivière-Verte, en Kentucky, à sa limite nord, sur la rivière des Moines, dans l'Iowa, est de plus de 550 milles; sa largeur maximum, à travers l'Illinois et le Missouri, dans la direction est-ouest, est de plus de 400 milles; et on peut compter 300 milles depuis sa limite septentrionale, dans l'Iowa, à ses limites actuelles méridionales sur la rivière Osage.

Cette région de l'ouest, en y comprenant les deux côtés du Mississipi, a donc une plus grande superficie que celle qui est située à l'est de la chaîne Appalachienne. La portion seule qui est à l'est du Mississipi est presque aussi grande que cette dernière, et celle qui est à l'ouest la dépasse de plus de moitié.

Plus loin, vers le Sud, on sait qu'il existe un bassin houiller d'une étendue considérable dans l'Arkansas. Il est probable que dans l'origine il était dans le prolongement de celui de l'Iowa et du Missouri, et qu'il en a été séparé depuis par le soulèvement d'une ceinture de roches métamorphiques; peut-être aussi ces roches déjà soulevées formaient-elles une île allongée dans la mer, où se sont déposées les couches de la for-

mation carbonifère. On connaît plus loin encore, au Sud et à l'Ouest, d'autres petits bassins isolés ou en relation avec le bassin principal; on a retrouvé d'ailleurs la grande couche inférieure du calcaire carbonifère dans le Nouveau-Mexique, et plus au nord, en certains points, le long des montagnes Rocheuses : on peut donc en inférer qu'on retrouvera les couches de houille, sinon sur toute l'étendue, au moins par intervalles et dans des bassins isolés de cette vaste surface.

En outre, il existe dans le Michigan un petit district jusqu'ici improductif, et qui ne semble pas tirer aujourd'hui profit de sa position dans une plaine basse. Sa position géographique lui donne cependant de grands avantages; il est situé au-dessus du niveau des eaux navigables du lac Huron, et est plus accessible au mouvement commercial des grands lacs qu'aucun autre bassin houiller.

On n'a encore aujourd'hui que trop peu de renseignements précis pour être à même de juger de l'importance que lui prépare l'avenir.

On trouve aussi dans le Rhode Island et le Massachusetts, sur une petite étendue, des couches de houille qui n'ont presque subi aucune altération (1). En étudiant la position relative de ces couches et de celles de la Nouvelle-Écosse, en connexion avec l'âge et les caractères de la contrée où elles apparaissent, on est conduit à penser que ces portions détachées ont pu autrefois être en liaison avec le district des Alleghanys; que celui-ci même ne faisait qu'un avec celui de l'ouest, et

(1) Les couches de houille un peu altérée auxquelles il est fait ici allusion sont celles que l'on exploite aujourd'hui; mais je suis convaincu qu'il existe sur une beaucoup plus grande étendue dans la Nouvelle-Angleterre des couches qui ont été plus ou moins métamorphisées.

qu'ainsi, en fait, dans leur condition primitive, et avant qu'aucune action perturbatrice ne masquât leur unité, toutes ces formations carbonifères pouvaient avoir recouvert toute la partie des États-Unis qui est située à l'est des montagnes Rocheuses.

En résumé, outre l'immense et inépuisable région qui s'étend à l'est de ces montagnes, des échantillons de houille ont été rencontrés par le capitaine Strausburg au delà du fort Laramie : on en a trouvé à Bellingham Bay, à Puget's Sound, dans le district de Washington ; mais on sait peu de chose de son âge et des roches qui lui sont associées. Ces derniers échantillons ressemblent tellement aux charbons bitumineux des couches de houille ordinaires, qu'on ne saurait établir entre eux aucune différence, et que nous sommes ainsi fondés à espérer qu'on trouvera sur les côtes occidentales des États-Unis cette source importante de progrès et de richesse nationale.

Produits exploitables.

Houille. — La rapide disparition des forêts dans le nord et le centre des États, ainsi que le développement constant et de plus en plus marqué des opérations industrielles, ont rendu nécessaire l'emploi général du combustible minéral. Bien qu'il y ait comparativement un petit nombre d'années que le charbon soit devenu d'un usage commun, la quantité absorbée par une constante consommation est aujourd'hui si énorme, que l'extraction et le transport à bon marché de ce combustible aux villes et aux cités devient une matière de la plus grande importance.

Les premiers essais industriels aux États-Unis eurent lieu dans la Nouvelle-Angleterre, où l'abondance des eaux compensait le manque de combustible minéral.

Actuellement, depuis que les couches de charbon sont mieux connues, et que l'extraction s'est mise au niveau des besoins de la communauté, on commence à sentir que le succès des opérations industrielles est surtout lié à l'abondance et à la consommation toujours assurée du combustible minéral. Pour faire saisir jusqu'à quel point a augmenté l'emploi du charbon anthraciteux, il suffira de dire qu'en 1820 le chiffre en était borné à 365 tonnes, tandis qu'en 1847, la demande toujours croissante s'élevait à 3,000,000 tonnes; et que dans la même année on consommait plus de 2,000,000 tonnes de charbon bitumineux.

En 1851, on a estimé que le charbon bitumineux consommé à Pittsburg et expédié aux ports du Sud, en y comprenant le charbon de Monongahela, s'élevait à plus de 1,000,000 tonnes. On arrive facilement des côtes de l'Atlantique aux bassins d'anthracite et de charbon bitumineux de Pensylvanie et du Maryland, qui forment comme des points avancés (outliers) du grand district carbonifère. L'Ohio, le Monongahela, le Kanawna, et d'autres rivières plus petites, quoique navigables, pénètrent et le traversent à l'ouest, tandis que ses bords septentrionaux et occidentaux ne sont éloignés que de 30 ou 50 milles du lac Érié à Cleveland, et de moins de 100 milles de Buffalo, où s'arrête la ligne de navigation du lac Supérieur, et commence le canal de New-York.

Au Sud, la même région arrive jusqu'à 200 milles du golfe de Mexico, et est traversée par des fleuves qui permettent de transporter le charbon depuis la mine jusqu'à la mer : le charbon qui sert à la navigation maritime dans le golfe peut donc éventuellement suivre cette direction. Actuellement, de grandes quantités de charbon descendent l'Ohio et sont dirigées vers la Nou-

velle-Orléans, et parcourent ainsi plus de 2.000 milles en rivière.

La région carbonifère de l'Ouest est traversée par l'Ohio, le Wabash, l'Illinois, le Mississipi, le Missouri et la rivière des Moines : les plus grandes facilités sont donc apportées aux transports sur les cours d'eau naturels. La limite nord est du district de l'Illinois arrive à 80 ou 90 milles de l'extrémité sud du lac Michigan, et est reliée avec Chicago par un canal et un chemin de fer. Ajoutez à toutes ces voies de transport les nombreux chemins de fer, en construction ou en projet, qui traversent cette contrée presque unie ou doucement ondulée, et l'on acquerra la certitude que cette vaste région de l'Ouest peut être fournie abondamment et d'une manière permanente de combustible minéral.

Le charbon des petits districts du Massachussets et de Rhode Island est un anthracite médiocrement combustible. Ce caractère, ainsi que l'irrégularité de ses couches, au milieu d'une contrée extrêmement bouleversée, et qui a subi le métamorphisme le plus puissant, n'ont pas permis des exploitations importantes; les travaux commencés sur dix ou douze points ont été abandonnés.

Les bassins d'anthracite de la Pensylvanie produisent de l'anthracite de qualité supérieure, et leur position leur permet d'alimenter pour une forte part les villes et cités de la côte de l'Atlantique.

Un échantillon d'anthracite de dimensions énormes, de la couche Mammoth, à Wilkesbarre (Pensylvanie), a été envoyé à l'exposition par des habitants de cette ville. Cette masse présente une section verticale de cette couche, et forme une colonne de 5 pieds carrés à la base et de trente pieds de hauteur, et pèse environ 60 tonnes. On voyait quelques autres grandes masses

de la même localité, l'une d'elles de 10 pieds de long sur 4 de large et 3 1/2 de haut, et des échantillons de la même couche provenant d'autres localités.

On avait envoyé des charbons de la mine Carbondale et Pittstown, une collection d'environ soixante variétés d'anthracite du comté de Schuylkill et quelques autres échantillons de charbon.

Les charbons bitumineux du Maryland étaient représentés par de larges échantillons de l'épaisseur de la couche (11 et 15 pieds). De nombreux échantillons de charbon bitumineux accompagnaient les minerais de fer de diverses localités de la Pensylvanie.

Ceux des comtés de Perry, Hacking, Vinton, Jackson et Mahoning, de l'Ohio, du Kentucky et de la Virginie, étaient aussi représentés.

Minerais de fer. — Les districts carbonifères des États-Unis contiennent de riches dépôts de minerai de fer, ordinairement associé aux couches de charbon. Ces minerais consistent principalement en fer carbonaté et en peroxyde de fer, ce dernier résultant sans doute d'une décomposition partielle du premier, qui contient une certaine quantité d'argile, de calcaire et de silice. En Pensylvanie et dans l'Ohio, où ces minerais sont exploités plus que partout ailleurs, les gisements paraissent inépuisables, et suffiront pendant une période illimitée aux exigences d'une civilisation dont le progrès ne se ralentit pas.

Dans le Tennessee, l'Alabama et l'ouest de la Virginie, la formation carbonifère abonde en minerai de fer. Dans la région de l'Ouest, cette relation entre le charbon et le fer a été moins reconnue, parce que la fabrication du fer y est beaucoup moins développée. Les travaux géologiques poursuivis actuellement dans l'Illinois ont déjà fait voir que cet État est richement

doté de minerai de fer qui se rencontre avec ses inépuisables couches de houille; et cependant il ne possède encore que deux hauts fourneaux. Dans le Missouri, on fabrique une certaine quantité de fer avec ces minerais, mais on n'est pas encore assuré de leur abondance. Les échantillons envoyés à l'exposition provenaient principalement de la Pensylvanie; et cet État a envoyé une collection très-complète de minerais, non-seulement du terrain houiller, mais encore des autres formations. La collection comprenait le minerai et les divers matériaux et produits : charbon, laitiers, fonte, fer; les minerais des formations inférieures à la houille, et qui se rencontrent dans les couches de houille, accompagnés du charbon qui a servi à les traiter.

On avait envoyé des minerais de fer de Vinton, Jackson et Hacking, Ohio, ainsi que d'une localité du Missouri. Une grande collection d'échantillons qui appartiennent probablement à la même formation avait été envoyée de l'Alabama.

Pour se rendre compte de l'abondance de ce métal dans ce terrain et du parti qu'on peut en tirer, il faut se rappeler qu'une faible partie seulement de ce que l'on connaît de cette immense région carbonifère était représentée à l'exposition, et que ce qu'on en connaît n'est qu'une faible partie de la surface entière; en songeant que les minerais qui en font partie, avec le charbon qui les accompagne, sont distribués plus ou moins abondamment sur un espace de plus de 160,000 milles carrés, nous pourrons concevoir une idée éloignée de cette immense quantité et des résultats importants qui pourront en résulter pour les intérêts industriels et l'avenir d'une contrée telle que les États-Unis.

On sait que les États de Tennessee et d'Alabama sont riches en minerai de fer appartenant au terrain houiller,

aussi bien que la Virginie et le Kentucky : mais un seul de ces États a envoyé des échantillons.

Calcaires. — Dans presque toutes les parties du district carbonifère, on trouve des calcaires d'origine marine, alternant avec des schistes, des grès et des lits de houille. En quelques endroits, le charbon et le calcaire se touchent, et parfois le minerai est en relation avec ces calcaires. Ces lits calcaires fournissent le fondant nécessaire pour traiter les minerais : on les exploite aussi pour fabriquer de la chaux pour les constructions.

Grès. — Les lits de grès alternant avec les schistes et les couches de houille, fournissent souvent une pierre excellente et très-durable. Quelques-uns des grès les plus friables, qui souvent ne contiennent point de fer, sont employés dans les verreries.

Argiles réfractaires. — Quelques-uns des lits de houille reposent sur des couches d'argile réfractaire plus ou moins épaisses ; et dans quelques parties de la formation, il existe des couches étendues de cette argile qui ne leur sont point directement associées. On l'emploie pour fabriquer des briques réfractaires, pour la poterie, pour faire des tuyaux de conduite, des drains. Partout ces couches ont la même étendue que le bassin houiller.

CALCAIRE CARBONIFÈRE.

La grande formation du calcaire carbonifère inférieure aux couches de houille, et qui, dans les districts houillers, forme ordinairement le trait le plus apparent de la topographie de la contrée, perd toute son importance et son relief sur les bords de la plus grande partie de la région houillère des Alleghanys. Sur la limite orientale, en Pensylvanie, c'est à peine si l'on

peut dire qu'elle existe encore ; et l'on ne peut y rapporter que de minces lits calcaires associés au schiste rouge dont nous parlerons plus loin.

Dans la Virginie, cette formation prend un grand développement, et devient très-puissante dans le sud de cet État. Dans le Tennessée, et toujours dans la même direction, le calcaire forme une étroite ceinture le long du bord oriental du bassin houiller, et se prolonge jusqu'à sa limite méridionale dans l'Alabama. Vers le nord, cependant, il disparaît graduellement et se perd complétement vers la rivière de l'Ohio, ou n'occupe plus au milieu des grès qu'une place insignifiante.

Dans le district de l'Ouest ou du Mississipi, nous retrouvons la formation beaucoup plus puissante et plus étendue. Le calcaire occupe, sur le bord oriental, une zone étroite qui traverse l'Indiana et le Kentucky, et reparaît sur le côté occidental du bassin ou le long de la vallée du Mississipi ; le lit du fleuve y est creusé à une grande profondeur, sur la longueur de plusieurs milles, et ses bords sont souvent élevés comme des falaises. Le calcaire s'étend avec une largeur variable sur un des côtés du Mississipi, à une petite distance au-dessus de l'Ohio jusqu'au confluent du Rock River, sur une longueur de plus de 300 milles par conséquent, et vient affleurer, à l'est et à l'ouest, sous les couches de houille. Il paraît, à de nombreux intervalles, le long du Missouri, et, partout où on l'a observé jusqu'ici, forme une large ceinture qui entoure toute la division occidentale du terrain houiller. Plus à l'ouest, il apparaît au Fort-Laramie, et forme le dépôt sédimentaire le plus important aux environs du grand lac Salé. On sait aussi qu'il se rencontre dans le Nouveau-Mexique et le Texas, mais ses limites n'y ont pas encore été tracées. Dans le Michigan, on sait peu de chose à l'égard de

cette formation : on a seulement trouvé en plusieurs localités, sur le bord occidental du bassin houiller, un calcaire qu'on lui rapporte. La grande variété des caractères que présente ce calcaire dans l'Ouest, jointe à d'autres considérations encore, a engagé le docteur D. D. Owen à le séparer en deux étages, l'un inférieur, l'autre supérieur. Sa puissance totale est de 390 pieds, et on peut y observer douze couches de caractères lithologiques différents.

Sur une vaste région dans l'ouest, ce groupe de lits calcaires, avec leurs couches de marne ou de grès tendre argileux, et des intercalations marneuses avec lits de calcaire terreux, imprime à la contrée qui s'étend autour du district houiller un caractère de fertilité qu'on ne retrouve plus au même niveau géologique dans le reste des États-Unis. Sur les bords septentrionaux, occidentaux et orientaux du district de l'est ou des Alleghanys, il existe une zone étroite où l'on ne trouve aucune formation calcaire importante ; et il faut chercher les calcaires bien loin des affleurements houillers ou dans les lits qui sont intercalés entre les couches de charbon. L'effet de cette différence géologique se lit, non-seulement dans les caractères différents des constructions, mais encore dans les conditions agricoles des deux contrées ; dans l'une, on ne trouve que des prairies aux environs de la houille, tandis que dans l'autre, à la même latitude et dans les mêmes conditions stratigraphiques, le sol très-calcaire fournit des céréales de première qualité.

Ce ne sont pas seulement les ceintures extrêmes qui entourent les deux bassins qui présentent un tel contraste : celui qui se manifeste entre leurs parties centrales n'est pas moins frappant. Cette formation calcaire, avec les nombreux lits de nature analogue qui

alternent avec les couches de houille elle-même, fréquemment coupée sur toute la profondeur par le lit des rivières et de profondes vallées, a servi à distribuer les matériaux calcaires avec abondance sur toute la surface de la contrée. C'est par ce motif peut-être et aussi par suite de l'accumulation de matériaux provenant de la destruction de couches calcaires des formations inférieures dans les districts du nord, que le bassin de l'ouest, avec ses grandes plaines et ses prairies, présente un aspect bien différent de la partie de la contrée qui appartient au bassin de l'est, malgré l'identité de leur position géologique.

Produits exploitables du calcaire carbonifère.

Plomb. — Le calcaire carbonifère dans la plus grande partie de son étendue conserve ses caractères normaux et est généralement dépourvu de substances minérales. Dans le sud de l'Illinois, où les couches ont été violemment bouleversées, il est traversé par des filons qui ont été exploités pour plomb (1). Ils contiennent de la galène, de la blende, du spath fluor en grande quantité, du spath calcaire, etc.

On trouve aussi des filons de plomb dans le calcaire carbonifère du Tennessee et de l'Alabama, mais ils ne peuvent donner lieu à une exploitation. On exploite dans l'Arkansas une veine très-rapprochée des couches de houille et qui peut-être doit être rapportée aussi au calcaire carbonifère.

Pierres de construction. — Ce calcaire fournit des pierres excellentes et à bon marché, faciles à tailler et à dresser.

---

(1) Le géologue de cet État, docteur J. S. Nerwood, professe une grande confiance dans l'avenir industriel de ces filons.

Quelques-uns des lits sont à grain très-fin et ont une structure extrêmement compacte, ce qui permet de leur donner un bon poli; quelques portions des couches inférieures, d'une structure oolithique, admettent aussi le poli.

On avait envoyé à l'exposition plusieurs blocs et quelques échantillons polis des environs de Saint-Louis.

SCHISTE ROUGE DE LA FORMATION DU CALCAIRE CARBONIFÈRE.

Il paraît nécessaire de signaler ici en même temps que ce calcaire une formation très-importante de schiste rouge qui est en relation avec lui et qui, lorsque le calcaire manque, se trouve directement sous les conglomérats qui accompagnent les couches de houille. Cette formation (n° XI de la carte de Pensylvanie) a une épaisseur de 2.949 pieds à Pottsville et s'étend sur une grande largeur sur la limite orientale du bassin houiller dans la Pensylvanie et la Virginie.

Produits exploitables.

Fer. — Cette formation est importante au point de vue économique, et contient du minerai de fer qui est exploité en un grand nombre d'endroits en Pensylvanie, non-seulement le long des affleurements de la houille, mais encore en beaucoup de points intérieurs du bassin où l'on perce, pour arriver à lui, les couches supérieures. Le minerai consiste essentiellement en fer carbonaté avec des proportions variables de silice, d'alumine, etc. Il contient de 60 à 80 p. 100 de carbonate de fer et quelquefois du peroxyde de fer dans la même proportion. On en voyait des échantillons à l'exposition.

TERRAIN DÉVONIEN.

Le groupe de calcaires, schistes et grès constituant la division du système paléozoïque qu'aux États-Unis on range généralement dans le terrain dévonien, forme un assemblage hétérogène. Dans l'ordre descendant, la série commence par la formation n° X de la carte de Pensylvanie; on le compte actuellement dans le terrain dévonien, bien que sa position dans ce terrain ou le terrain carbonifère soit encore un sujet de débats (1). Nous y ajouterons les schistes et grès des monts Catts-kill, et les groupes de Chemung et de Portage, ainsi que les grès et lits calcaires du groupe d'Hamilton dans l'État de New-York, ainsi que leur prolongement à l'ouest, connu sous le nom de schiste noir et grès de Waverly, ou grès à grain fin de l'Ohio, l'Indiana, l'Iowa, etc. La série entière de ces dépôts repose sur un calcaire qui appartient à la même formation et qui occupe la même étendue qu'eux.

Nous allons tracer d'abord les limites et les caractères des couches de la portion supérieure, puis nous décrirons la formation calcaire.

Premier groupe. — La série des couches que nous considérons est beaucoup plus puissante dans la partie orientale des États-Unis, dans l'État de New-York et la Pensylvanie que dans l'ouest. Dans la première région, elle forme un dépôt littéral où les matériaux les plus grossiers sont accumulés : tandis que vers l'ouest, où les plus ténus ont été transportés, l'accumulation est moins puissante. Pour ce motif, les ressources économiques que la formation peut fournir et son influence

(1) Cette formation de psammites micacés est rangée par M. de Verneuil dans le terrain carbonifère. A. L.

sur la topographie et la facilité du sol varient d'une manière sensible dans ses diverses parties.

Aux points où le développement du groupe est le plus considérable, les lits inférieurs ont été formés par un limon fin impalpable et sont suivis par d'autres couches formées par un limon semblable, mais mélangé d'une grande quantité de matière calcaire; et parfois, quand celle-ci diminue, la roche prend un caractère arénacé. On trouve, en montant plus haut, de minces bandes calcaires, mais elles n'apparaissent pas constamment. Elles sont suivies de schistes tendres ou de grès schistoïdes, puis de lits arénacés qui dans le haut alternent avec des bancs de schiste plus ou moins épais. Viennent après des schistes rouges et verts et des grès, dont la structure est parfois plus grossière que celle des dépôts inférieurs, mais qui sont souvent schistoïdes ou alternent avec le schiste.

C'est cette formation qui constitue le massif des monts Cattskill. Il faut y ajouter encore le n° X, qui est un grès grossier ou conglomérat, et parfois une masse schisteuse avec mélange de conglomérat.

Cette formation peut être considérée comme occupant près de la moitié méridionale de l'État de New-York, depuis la rivière d'Hudson : elle s'étend le long de la limite septentrionale du bassin houiller de Pensylvanie et forme le bord méridional du lac Érié depuis les environs de Brussels, New-York, à Cleveland, Ohio. En ce point elle se recourbe pour former une large ceinture qui borde le bassin sur toute sa limite occidentale, mais qui s'amincit graduellement vers le sud. A l'est, elle suit le bord du bassin houiller des Alleghanys, depuis la Pensylvanie jusqu'à l'Alabama.

Le schiste noir et le grès fin entourent de la même

manière le bassin houiller du Michigan et forment autour de lui une vaste zone de plusieurs centaines de pieds d'épaisseur, tout le long du bord du bassin houiller de l'Illinois; ils affleurent partout sous le calcaire carbonifère nettement dessiné : parfois les deux roches semblent néanmoins passer de l'une à l'autre, ou leurs couches extrêmes présentent quelques alternances. Le long de la vallée du Mississipi, ces dépôts affleurent en beaucoup de points sous le calcaire carbonifère, et les grès fins, si répandus à l'ouest de ce grand bassin houiller, sont probablement du même âge.

Second groupe. — A la base de toutes ces couches sédimentaires repose une immense formation calcaire, moins importante par sa puissance que par la surface qu'elle occupe et les traces évidentes qui permettent de reconnaître qu'elle formait autrefois un banc corallien continu et non interrompu sur un espace qui n'a pas moins de 500.000 miles quarrés.

Dans les limites des États-Unis, on l'a retrouvée dans sa position primitive dans les États de New-York, de New-Jersey et de Pensylvanie, d'où elle s'étend ensuite vers l'est. Le trait le plus apparent qu'elle forme, cependant, s'étend depuis les montagnes de Helderberg jusqu'à l'Hudson, près Albany, vers l'ouest en traversant ainsi tout l'État de New-York. Elle franchit le Niagara aux Roches-Noires, s'étend à travers le Canada supérieur le long d'une ligne à peu près parallèle à la côte du lac Érié, et traversant la partie septentrionale du Michigan, forme la limite occidentale du lac Huron vers le nord, au passage de Mackinac, et forme encore un énorme dépôt isolé qui recouvre l'île Mackinac et Gross-Cap. Au sud-ouest de ces points, elle occupe le lit du lac Michigan : elle a été dénudée avec les couches

plus tendres qui lui sont inférieures et excavée pour recevoir les eaux du lac.

L'axe anticlinal qui s'étend depuis l'ouest du lac Érié à Cincinnati, à la partie méridionale du Tennessee, permet de voir ce calcaire qui remplit une large zone des deux côtés des couches inférieures qui ont été soulevées. Dans la partie centrale de l'Ohio, il s'étend de Sandusky, au sud, à la rivière d'Ohio, et de là au Kentucky. Il est également étendu dans l'est et le sud-est de l'Indiana, atteint l'Ohio aux chutes de Louisville, et passant ensuite dans le Kentucky, où il occupe une surface considérable, il s'étend dans le Tennesee, en circonscrivant le bord irrégulier de la formation silurienne de cet État.

Après avoir suivi la direction nord-est dans le nord de l'Indiana, il court parallèlement à la limite septentrionale du bassin houiller de l'Illinois; et s'étendant au haut du lac Michigan et au delà du Mississipi, il forme en partie le fond de la vallée de la rivière du Cèdre-Rouge dans l'Iowa.

Malgré la remarquable persistance de ce groupe, il n'atteint nulle part une grande épaisseur : sa puissance, dont le maximum est peut-être de 350 pieds, est généralement plus petite que 100 pieds. Dans son prolongement nord-ouest dans l'Iowa, le docteur Owen estime qu'il n'a pas plus de 60 ou 70 pieds, et à sa limite sud-ouest la plus éloignée, il possède à peine la moitié de cette épaisseur.

Troisième groupe. — Les géologues sont aujourd'hui très-disposés, en Amérique, à étendre les limites de la formation dévonienne encore plus bas que le calcaire que nous venons de décrire, et à y comprendre une série de grès et de roches arénacées comprise entre ce calcaire et un autre calcaire appartenant à la formation

inférieure (1). Dans l'état de New-York, on y distingue deux membres différents, le cauda-galli grit et le grès d'Oriskany. Le premier forme une masse compacte, à grain fin et serré, d'une couleur sombre, et ne contient presque pas de fossiles ; le second est un grès grossier, poreux, friable très-riche en roches organiques.

Ces roches atteignent leur limite septentrionale à la montagne d'Helderberg, près de l'Hudson ; et dans leur plus grand développement vers l'ouest, ne vont pas au delà de 200 miles, et présentent de fréquentes interruptions jusqu'à cette distance. Leur puissance totale dans l'état de New-York n'atteint pas 500 pieds. Le membre inférieur de ce groupe est beaucoup plus persistant que le supérieur : il s'étend au sud à travers la Pensylvanie et dans la Virginie, et acquiert dans cette direction, dans le premier de ces états, suivant le professeur H. D. Rogers, une épaisseur de 700 pieds.

Produits exploitables du terrain dévonien.

Minerai de fer, matériaux de construction, etc. — Un système si varié dans sa composition et qui occupe une telle superficie, doit nécessairement fournir une grande quantité de produits exploitables. Les principaux consistent en minerais de fer, calcaire destiné à fabriquer de la chaux, chaux hydrauliques, pierres à bâtir, grès pour les constructions, grès réfractaires, dalles, etc.

A la jonction des deux groupes de Chemung et de Cattskill, nos VIII et IX de la carte de Pensylvanie, on trouve des bancs de minerai de fer fossilifère, qui n'est pas sans ressemblance avec un minerai que nous mentionnerons dans le groupe de Clinton, New-York, appartenant à la formation silurienne supérieure. Ces mi-

(1) M. de Verneuil rapporte de même au terrain dévonien le cauda-galli grit et le grès d'Oriskany. A. L.

nerais contiennent de 30 à 50 p. 100 de peroxyde de fer. On trouve aussi des minerais de fer associés avec calcaire à la base du n° VIII de la carte de Pensylvanie.

Ces minerais passent pour être de bonne qualité et abondants dans la Pensylvanie, et se rencontrent aussi plus loin vers le sud. Dans le prolongement occidental du calcaire dont nous avons parlé, on ne trouve point de minerai important, bien que la jonction du calcaire avec la roche voisine soit souvent marquée par un dépôt ocreux.

On n'avait envoyé à l'exposition, comme représentant de cette formation, que quelques échantillons de minerai de fer et de calcaire de la Pensylvanie.

TERRAIN SILURIEN SUPÉRIEUR.

Les formations qui, aux États-Unis, peuvent être comprises dans la partie supérieure du système silurien consistent en calcaire connus dans l'État de New-York sous le nom de groupe calcaire inférieur du Helderberg qui renferme en allant de haut en bas les membres suivants : calcaire à encrines, schiste calcaire à Delthyris, calcaire à Pentamères, calcaire d'eau douce. Vient ensuite le groupe salin d'Onondaga, New-York, et le groupe calcaire du Niagara, qui est compris dans le n° VI de la carte de Pensylvanie. On trouve encore plus bas une série de schistes, de grès, de conglomérats et de lits calcaires, constituant le groupe de Clinton, New-York, et le tout se termine par le grès de Médina. Ces deux dernières formations répondent au n° V de la carte de Pensylvanie.

Les différents membres ou groupes de la série ont une distribution géographique différente et méritent d'être traités à part.

Groupe A. — Les calcaires inférieurs d'Helderberg ont leur plus grand développement dans les montagnes d'Helderberg, près de l'Hudson, et dans le New-Jersey, la Pensylvanie et la Virginie. Leur puissance en Pensylvanie est évaluée à 900 pieds, et est quatre fois plus grande que dans l'État de New-York. Dans la direction sud-ouest, et parallèlement à la chaîne Appalachienne, ce groupe semble avoir la même étendue que les autres membres des formations paléozoïques. Cependant, nous le voyons s'amincir dans la direction de l'ouest; et à l'exception des membres inférieurs, on ne le connaît plus à 100 milles à l'ouest de l'Hudson. Le membre inférieur, ou calcaire d'eau douce, s'étend jusqu'aux limites occidentales de l'état.

Groupe B. — Le second groupe ou groupe salifère d'Onondaga a une plus vaste étendue; il traverse entièrement de l'est à l'ouest l'État de New-York et entre ensuite dans le Canada occidental, où il est souvent masqué par des dépôts superficiels. Il court au nord-ouest vers le lac Huron, dont le lit est pratiqué dans une de ses dénudations et apparaît de nouveau à la base de l'île Mackinac et de Gross Cap dans le lac Michigan.

Il se dirige ensuite de nouveau dans la direction du lac Michigan, où il a été raviné ainsi que le calcaire qui lui est supérieur (1).

Dans le nord de l'Ohio, à l'ouest de la ville de Sandusky, et le long de la rivière du même nom, il prend une certaine importance : mais dans le sud de cet État et dans le sud-est de celui d'Indiana, où on le retrouve

(1) Voyez, sur l'origine et la position relative des vallées des lacs Huron et Michigan, un travail de James Hall dans le Rapport de Foster et Whitney sur le district du lac Supérieur.

encore en beaucoup de points, son épaisseur devient insignifiante.

Le membre le plus persistant de cette partie du système silurien, est le groupe du Niagara, qui consiste en schiste et calcaire, ou en calcaire seulement, et est bien connu pour former la cataracte du Niagara. Bien que ce groupe soit extrêmement mince, et qu'on le reconnaisse avec difficulté, sur la limite de la série paléozoïque, il devient très-important dans l'ouest de l'État de New-York. Il ne forme dans l'est de cet État qu'un lit mince de peu de conséquence, mais il augmente graduellement d'épaisseur vers l'ouest, et constitue un des traits les plus apparents de la topographie de la contrée sous forme d'une grande terrasse, ou d'une crête montagneuse, comme on l'appelle, qui s'étend de Rochester, près Lewiston, New-York, Queenstown et Saint-David, Canada oriental, à l'entrée du lac Ontario.

Se dirigeant ensuite vers l'ouest, cette formation constitue le pays élevé, nommé Cabot's Head, entre le lac Huron et la baie de Géorgie; et dans son prolongement forme, en grande partie, les îles Manitoulin. De là, vers l'ouest, en passant par le détroit de Mackinac, elle constitue le bord septentrional du lac Michigan et la péninsule qui le sépare de la baie Verte; et plus loin, la rive occidentale du lac Michigan, près de son extrémité méridionale. Elle occupe, encore plus à l'ouest, les régions élevées du sud du Wisconsin et du nord de l'Illinois, et s'étendant dans l'Iowa, remplit une vaste surface entre le Mississipi et la rivière du Cèdre-Rouge.

L'axe anticlinal déjà mentionné, qui s'étend de Nashville au lac Érié, amène au jour le calcaire dans les îles qui sont près du bord occidental de ce lac; et il s'étend ensuite au sud-ouest, est interrompu par

le terrain siliceux inférieur environ à 50 milles au nord de Cincinnati, et s'étend de là sur les deux côtés de l'axe dans les États de Kentucky et de Tennessee; les couches calcaires inférieures qu'on observe aux chutes de l'Ohio se rapportent à cette formation, ainsi que les calcaires fossilifères bien connus du comté de Perry, Tennessee.

Groupe C. — Nous pouvons pour le moment réunir les deux formations suivantes, le groupe de Clinton et le grès de Médina de la carte de New-York; la série comprendra ainsi des schistes, des grès schisteux, des conglomérats, des couches calcaires, des minerais de fer et une formation massive de grès rouge tendre à la base. Ce groupe, dans sa totalité ou représenté par quelques-uns de ses membres, a presque la même étendue que le précédent. Il suit les mêmes contours, affleure sous lui, et sert souvent à supporter la saillie du calcaire supérieur qui forme ainsi une suite de proéminences hardies. Tous les membres du groupe sont bien développés dans la partie centrale de l'état de New-York, qui forme sa limite la plus septentrionale, si nous exceptons quelques parties du Maine où, d'ailleurs, son étendue est mal connue, et les montagnes Vertes où il est représenté par quelques roches métamorphiques. Depuis le point de son plus grand développement aux environs d'Oneida, la formation diminue et devient plus calcaire en avançant vers l'ouest, et près du Niagara elle ne consiste plus qu'en un lit de schiste et un lit calcaire. Au nord-ouest et en traversant le Canada, sa puissance décroît rapidement; elle suit la ligne du calcaire supérieur, et on la trouve dans les îles du lac Huron. On la reconnaît distinctement sur la côte orientale de la baie Verte et aussi dans le Wisconsin, qui est la limite la plus occidentale qu'on puisse lui assigner

aujourd'hui. Quelques-uns des lits calcaires de ce groupe, si bien définis dans l'État de New-York, sont, à l'ouest, entièrement confondus avec le calcaire du Niagara. On peut dire la même chose des roches qui longent le grand axe central, bien que l'on puisse à peine reconnaître les couches qui appartiennent au groupe.

Du sud-ouest du mont Shawangunk, dans l'État de New-York, ce groupe s'étend à travers le New-Jersey et dans la Pensylvanie, où il atteint l'épaisseur énorme de 2.000 pieds. Quelques-uns de ses membres se trouvent encore dans la Virginie et le Tennessee, et atteignent la limite méridionale de la région paléozoïque dans l'Alabama.

La base du terrain silurien supérieur est marquée par un immense dépôt de grès en couches épaisses, d'une structure tantôt fine, tantôt grossière, et des conglomérats puissants avec lits minces de schiste ou de grès schistoïde. Ces conglomérats contiennent fréquemment des cailloux d'une grande dimension, et souvent les matériaux qui les composent ne sont que peu usés, et les fragments conservent à un degré frappant leur forme angulaire.

Malgré la nature grossière des matériaux dont la roche est ordinairement composée, ils sont cimentés au point de faire naître l'idée qu'une certaine partie de la matière siliceuse pouvait se trouver en dissolution au moment de l'agrégation de la masse. La forme moins arrondie des fragments et la nature compacte de la roche, jointes aux particularités de sa stratification et de ses autres traits, servent à distinguer ce conglomérat de ceux du terrain houiller.

La roche a été d'abord reconnue dans la vallée du Mohawk, au sud d'Utica, où elle forme une masse qui

a moins de 20 pieds d'épaisseur, et qui se perd en s'amincissant à la fois vers l'est et l'ouest, tandis que vers le sud elle plonge sous les formations supérieures. A 70 milles plus au sud, cependant, elle apparaît brusquement avec une grande puissance dans le mont Shawangunk, qui commence à quelques milles de l'Hudson, près Kingston, et de là se dirige par les comtés Ulster, Sullivan et Arago jusqu'au Delaware. La formation s'étend ensuite au sud-ouest, à travers New-Jersey, la Pensylvanie, le Maryland et la Virginie, et imprime son caractère principal à la topographie de la contrée sur toute sa longueur. En y comprenant le mont Shawangunk dans l'État de New-York, et son prolongement, le mont Kittatinny en Pensylvanie, elle forme une chaîne de montagnes continue depuis la rivière d'Hudson, dans l'État de New-York, à la partie septentrionale de la Virginie. Nous ne devons pas oublier d'observer que, bien que le mont Shawangunk se termine d'une manière abrupte au nord-est, à quelques milles de l'Hudson, cependant les conglomérats et grès grossiers sont mélangés avec les schistes inférieurs de la période précédente, dans les roches contournées et métamorphiques de l'est de l'État de New-York.

Cette formation forme ordinairement le trait le plus apparent dans les paysages et la topographie de la contrée qu'elle traverse, et constitue la chaîne de montagnes que nous avons décrite. Sa surface est ordinairement stérile et souvent complétement dépouillée de végétation sur une vaste étendue; et les grès blancs, qu'on voit souvent sous forme de grandes taches blanches, donnent un aspect particulier à quelques parties de ces montagnes.

Il est aussi digne de remarque que ces roches présentent tous les caractères d'une ancienne ligne de

côtes pendant la période des soulèvements, et marque de la manière la plus tranchée, dans le dépôt de la série entière des roches paléozoïques, la période à laquelle la faune de cette époque a subi les changements les plus considérables.

Produits exploitables du terrain silurien supérieur.

Minerai de fer. — La substance la plus importante au point de vue économique, dans cette portion du système, est le minerai de fer. Les couches connues dans l'État de New-York sous le nom de groupe de Clinton contiennent un et quelquefois deux lits distincts de minerai de fer attenant avec des lits de calcaire et de schiste. Ce minerai paraît avoir la même étendue que la formation entière. Dans l'ouest, cependant, où elle est mince et interrompue, on n'a reconnu son existence que dans une localité de Wisconsin. Le minerai est fossilifère, ainsi que les bancs contigus de calcaire et souvent très-calcaire dans sa composition. Il est très-estimé et employé pour la fabrication du fer en Pensylvanie et dans l'État de New-York.

On trouve de petites quantités de minerai de fer dans les calcaires supérieurs (n° 6 de la carte de Pensylvanie); mais aucun gisement important n'a été reconnu sur la vaste surface occupée par ces calcaires.

Plomb, zinc et cuivre. — On trouve de la galène, de la blende et des pyrites de cuivre dans le conglomérat de Shawangunk. On y exploite actuellement une mine de plomb dans le comté d'Ulster : la même produit de la galène, des pyrites de cuivre et une petite quantité de blende. On y a rencontré quelques masses de galène de dimension remarquable : l'une d'elles pesait 16.000 livres.

Plus au sud, dans l'État de New-York, on a exploité

sur une échelle assez large une veine ou lit de zinc sulfuré.

Pierres à bâtir et grès. — Le calcaire abonde dans cette partie du système, et quelques-unes des plus belles et des plus durables constructions de la contrée ont été faites avec le calcaire du groupe du Niagara, comme on peut l'observer dans les grands travaux qu'on voit tout le long de la ligne du canal Érié; la facilité avec laquelle cette roche est extraite et la proximité des voies navigables ont rendu son usage très-général : on peut le trouver même à Chicago, à une distance de 1.500 milles, par la voie des lacs, de son gisement dans l'ouest de l'État de New-York.

Le grès de Médina et le groupe de Clinton donnent une grande quantité de dalles, et, en certains points, de pierres de construction.

Des pierres de bonne qualité ont été extraites du conglomérat compacte de Shawangunk; la roche qui les forme, dans les anciens traités publiés en Amérique, avait été identifiée à tort avec le millstone-grit d'Angleterre.

Sel. — Le groupe salifère d'Onondaga, dans l'état de New-York, renferme des eaux salées sur une vaste étendue : les grandes quantités de sel qu'on en retire forment une des industries importantes et un des plus larges revenus de l'état. La quantité de sel obtenu dans ces salines, en 1797, était de 25.474 bushels (1) : cette quantité a toujours été depuis en augmentant; elle s'élevait, en 1852, à 4.922.533 bushels, et dans la présente année dépassera 5.000.000 bushels.

Bien que cette formation contienne des eaux salées jusqu'à une distance de 200 milles ou plus de son

(1) Le bushel vaut 36,547664 litres.

affleurement septentrional, néanmoins celles qui sont assez salines pour donner lieu à une exploitation sont confinées dans un petit espace aux environs de Syracuse, New-York.

Il faut observer que les cavités où l'on puise ces eaux sont creusées dans le drift ou l'alluvion, et ne s'étendent que dans peu de cas jusqu'à la roche en place. Les eaux arrivent dans le drift après avoir traversé les couches supérieures du groupe qui s'élèvent au-dessus du niveau de la vallée vers le sud, et ni leur quantité ni leur teneur ne sont modifiées en pénétrant dans les couches qui reposent sous le gravier.

Exposition. — Le système silurien supérieur était représenté à l'exposition par des échantillons de minerai de fer de Pensylvanie et de gypse de l'État de New-York.

TERRAIN SILURIEN INFÉRIEUR.

Les formations géologiques qui, aujourd'hui, sont comprises dans l'étage inférieur du terrain silurien consistent, en allant de haut en bas, en une série de grès argileux et de schistes connus sous le nom de formation III dans la carte de Pensylvanie, ou groupe de la rivière d'Hudson, y compris le schiste d'Utica dans l'État de New-York. Après eux viennent les calcaires de la formation II de Pensylvanie, ou calcaires de Trenton, Black-River, Bird's-eye et Chazy de l'État de New-York. A la base du système vient la formation Ier ou les grès calcifères et grès de Potsdam. Ces trois divisions dans le terrain silurien inférieur nécessitent une courte description séparée, bien que, sauf peu de modifications, elles occupent à peu près la même étendue géographique.

Groupe A. — La division mentionnée en premier lieu, ou division supérieure, acquiert un grand développement vers le nord-est; elle pénètre aux États-Unis

en venant du Canada et suit continuellement le bord oriental du lac Champlain, ordinairement dans un état de métamorphisme partiel. Elle s'étend au-dessous de Whithall et forme une lisière sur les deux côtés de la vallée de l'Hudson où elle prend peu à peu son caractère normal. Elle s'étend dans cette vallée jusqu'à Newbury, et suivant ensuite la direction du sud-ouest, continue à travers les États de New-Jersey, de Pensylvanie, de Maryland et de Virginie, tantôt sur une seule ligne, tantôt sur deux ou trois qui reviennent plus loin se confondre. A son extrémité sud-ouest, elle suit la direction générale des Alleghanys, et ses contours correspondent aux sinuosités des précédentes formations. A l'ouest et au nord-ouest de la rivière d'Hudson, les couches passent sous les calcaires inférieurs de l'Helderberg, depuis Kingston sur l'Hudson au Mohawk; elles continuent à suivre cette vallée avec de nombreuses ondulations, et on les voit s'élever sur ses deux flancs, par suite du soulèvement des roches inférieures. Enfin elles finissent par s'élever sur une vaste surface sur la côte orientale du lac Ontario. Dans le Canada elles reparaissent sur la rive septentrionale du lac et peuvent être suivies sans interruption jusqu'au fond de la baie de Géorgie, sur le lac Huron. Le bassin de cette baie, et sa continuation dans l'espace compris entre les îles Manloulin et les terres, a été creusé en partie dans le groupe de la rivière d'Hudson, dont les lits supérieurs apparaissent au bord septentrional de quelques-unes de ces îles. A l'ouest, ce groupe atteint le bord septentrional du lac Michigan, qui forme la Pointe aux baies entre la grande et la petite baie de Noquet. Il est recouvert par les eaux de la baie Verte, près du fond de laquelle, sur la côte orientale, on voit passer les portions supérieures du groupe sous les calcaires supé-

rieurs. On le revoit sur la côte orientale du lac Winnebago, et au delà il se perd peu à peu en s'amincissant. Depuis la baie de Géorgie, à l'ouest, la formation prend un caractère argilo-calcareux : les lits supérieurs consistent en calcaire impur, et les lits arénacés manquent presque absolument.

Cette formation est extrêmement développée dans la région qui entoure Cincinnati, dans l'Ohio, à une distance de 50 milles et au sud-ouest le long de l'axe qui s'étend à travers le Canada et le Tennessee. Dans cette partie des États-Unis, elle consiste en lits alternatifs de schiste tendre et de lits minces calcaires avec traces accidentelles des grès schistoïdes qui forment un trait si constant et si caractéristique de cette formation dans son extension orientale.

Sur le Mississipi et en beaucoup de points du Wisconsin et de l'Iowa, on trouve quelques lits minces de calcaire argileux avec couches de schiste, surmontant la roche riche en plomb et occupant probablement la position du groupe de la rivière d'Hudson. En admettant cette dernière correspondance, nous pouvons suivre le groupe depuis la frontière nord-est des États-Unis, au sud-ouest dans l'Alabama, et nous avons de bonnes raisons de supposer, par suite de son apparition dans la région de Cincinnati et de Nashville, qu'il existe sous les formations supérieures sur toute l'étendue intermédiaire.

Groupe B. — La seconde division de la formation du terrain silurien inférieur, ou le groupe calcaire, consiste dans sa partie orientale en quatre membres distincts : le calcaire de Trenton, le calcaire de Black-River, le calcaire de Bird's-eye et le calcaire de Chazy. Celui de Trenton est le plus persistant et donne souvent son nom au groupe entier.

La série de ce calcaire pénètre aux États-Unis au nord par les vallées du Saint-Laurent et du lac Champlain, et on les reconnaît le long du Saint-Laurent jusqu'à son embouchure. Nous les retrouvons avec quelques légères interruptions à travers les États de New-York, de New-Jersey, de Pensylvanie, de Virginie et d'Alabama. Le groupe s'étend à l'ouest de la partie centrale de l'État de New-York le long de la vallée du Mohawk, par les chutes de Trenton et la rivière Noire, à l'extrémité orientale du lac Ontario. De là, en franchissant le Saint-Laurent, il traverse le Canada et apparaît sur les bords de la baie de Géorgie et le long du bord septentrional du lac Huron; il forme la plus grande partie de l'île de Saint-Joseph, et s'étendant à l'ouest entre le lac Supérieur et le lac Michigan, forme la côte occidentale de la baie Verte. De là il entre dans l'état de Wisconsin et continue à peu près parallèlement au bord occidental du lac Michigan jusqu'à 50 milles de la frontière méridionale de l'État : il s'infléchit à l'ouest et occupe une large surface dans la partie méridionale du Wisconsin et le nord de l'Illinois. Il s'étend dans l'Iowa et, suivant le cours du Mississipi, se montre par intervalle au niveau des chutes de Saint-Antoine. Le long de l'axe de soulèvement qui s'étend de Nashville au lac Érié, on retrouve ces calcaires sur les bords de la rivière des Pierres dans le Tennesse et à Franchort dans le Kentucky; mais ils n'apparaissent plus au nord de l'Ohio.

Les calcaires de la période du terrain silurien inférieur occupent la même étendue que les schistes qui leur sont supérieurs dans l'est des États-Unis, tandis que dans l'ouest, ou dans la vallée du Mississipi, ils s'étendent au delà de leurs limites positivement reconnues.

Ce groupe calcaire, soit qu'on y retrouve les diverses sous-divisions, soit qu'il ne forme qu'une seule masse, est partout très-important. Dans toutes les localités de l'est et du sud-est, il consiste en calcaires parfois avec intercalation de couches de silex et de lits minces schisteux. A l'ouest, les schistes augmentent d'épaisseur, et en certains endroits, comme aux chutes de Saint-Antoine, prennent une telle importance qu'une grande partie de la roche n'est plus propre à aucun emploi.

On observe en avançant vers l'ouest une diminution générale dans la puissance et un changement dans les caractères des calcaires de ce groupe, et dans cette direction commence à s'intercaler un autre membre, qui n'est encore que peu important avant d'arriver dans le Wisconsin, mais qui se développe alors beaucoup dans cet État et devient très-intéressant à cause du gisement qu'il renferme (calcaire à galène) dans le Wisconsin, l'Illinois et l'Iowa, et qui a été autrefois représenté dans les cartes de cette contrée sous le nom de Cliff limestone.

Groupe C. — La dernière division du terrain silurien inférieur est formée par le grès calcifère et le grès de Potsdam. Le premier étage est représenté par le calcaire magnésien inférieur dans les États qui bordent le haut Mississipi. Ces deux roches alternent fréquemment à leur point de jonction, et en beaucoup de localités on trouve un dépôt friable arénacé succédant au grès calcifère, qui est sans aucune doute dû à la répétition des mêmes actions auxquelles il faut rapporter les lits arénacés inférieurs.

La division inférieure est pour la plus grande partie dépourvue de matière calcaire; cependant dans sa partie occidentale, elle contient quelques bancs cal-

caires. Le grès supérieur ou calcifère a reçu originairement ce nom, parce que partout on y observe à différents degrés la combinaison des éléments calcaires et arénacés. Cette formation pénètre dans les États-Unis par la vallée du Saint-Laurent au nord-est, et traverse le nord de l'État de New-York jusqu'au bord du lac Ontario. On peut la suivre en descendant la vallée du lac Champlain et de là sans interruptions à travers les États de New-Jersey, de Pensylvanie, de Maryland, de Virginie et du Tennessee. A l'ouest, elle traverse le Canada, circonscrit le bord septentrional et se développe davantage sur le lac Supérieur; du bord occidental de ce lac, elle prend une grande extension dans le nord du Wisconsin et s'étend le long des bords du Mississipi, en formant les roches élevées et pittoresques qu'on voit entre la prairie du Chien et les chutes de Saint-Antoine.

Produits exploitables du terrain silurien inférieur.

Minerai de fer. — La grande région ferrugineuse décrite par le professeur H.-D. Rogers, dans son rapport géologique sur le Canada, en connexion avec les calcaires de cette période, n'est point, à proprement parler, comme on le conçoit, une partie de la formation; mais l'association du minerai avec différentes argiles et d'autres dépôts indiquent que leur origine est la même que celle des autres dépôts d'hématite que nous avons décrite dans ce rapport avec les autres produits de la formation tertiaire.

Minerais de plomb. — Le produit le plus important de la formation du terrain silurien inférieur est la galène ou plomb sulfuré. La roche qui la renferme ou «calcaire à galène (1)» du Wisconsin, de l'Iowa, du

(1) Ainsi nommé par le professeur Hall, qui l'a rangé dans

nord de l'Illinois et d'une partie du Missouri, est un calcaire silurien qui en a déjà fourni d'immenses quantités depuis un grand nombre d'années.

Les minerais de plomb du Missouri se trouvent dans la même roche que ceux du nord de l'Illinois, du Wisconsin, de l'Iowa et dans de semblables conditions. On sait qu'il existe des veines de galène et de blende en plusieurs endroits dans le calcaire de Trenton, dans la partie septentrionale de l'état du New-York, mais elles n'ont jamais été exploitées avec profit.

Minerais de cuivre. — Des veines ou des filons de cuivre sulfuré ou carbonaté se rencontrent dans plusieurs localités, dans les limites de la région plombifère et dans la même association de roches, particulièrement à Mineral Point, dans le Wisconsin, où on a commencé à les exploiter, mais où elles ont ensuite été abandonnées; on en trouve aussi dans le Missouri. Ces filons sont confinés dans une roche d'épaisseur médiocre, et sont plus étendus dans le sens horizontal que dans le sens vertical. On trouve aussi du cuivre à un niveau plus bas dans le calcaire magnésien inférieur du Wisconsin, mais seulement dans une localité de peu d'étendue. Sur la limite méridionale du lac Supérieur, le grès inférieur, ou grès de Potsdam, est associé à des lits étendus de conglomérats et à une rangée non interrompue de roches trappéennes cuprifères. Le grès et le conglomérat contiennent certains minerais de cuivre, mais le cuivre métallique se trouve principalement dans les trapps : on n'exploite aujourd'hui aucun de ces minerais.

---

le terrain silurien inférieur. (Voyez le Rapport géologique sur district du lac Supérieur.) Il avait été décrit auparavant comme faisant partie du clifflimestone de l'Ohio, ou sous le nom de calcaire magnésien supérieur par le docteur D. Owen.

Marbre, calcaire et pierres de construction. — Quelques-uns des lits de calcaire fournissent un marbre noir d'excellente qualité, qui est extrêmement répandu, ainsi qu'un marbre bariolé, dont on pave les salles et les bâtiments publics, et qui sert encore à d'autres emplois. Les calcaires inférieurs donnent en quantité abondante des pierres de très-bonne qualité qu'on peut obtenir en blocs très-épais : ces pierres, excellentes sous ce rapport dans le nord et l'est de la formation, le sont beaucoup moins dans la partie ouest. Le grès de Potsdam fournit une pierre excellente et très-durable et des pierres réfractaires.

On extrait des schistes de la rivière d'Hudson, une grande quantité d'ardoises dans le Vermont, l'État de New-York, la Pensylvanie, et probablement encore plus au sud. On la trouve ordinairement sur les bords de la ceinture métamorphique; et quand elles n'ont subi aucune altération, ou quand l'action métamorphique a été trop puissante, elles ne peuvent servir.

Pierres meulières et dalles. — On fait des meules de bonne qualité avec des grès du groupe de la rivière d'Hudson. Les dalles sont aussi abondantes en beaucoup d'endroits, le long des parties orientales et à l'ouest jusqu'au lac Ontario. Le grès de Potsdam, en couches minces, en fournit souvent d'excellentes.

Exposition. — Le terrain silurien inférieur était représenté par le marbre à encrines du lac Champlain, par des ardoises, des schistes demi-métamorphiques de la formation, qu'on pourrait avec autant de propriété rapporter à celle que nous allons décrire.

ROCHES MÉTAMORPHIQUES SUPÉRIEURES.

Il est extrêmement difficile de tracer une ligne de séparation entre les dernières roches fossilifères et les

roches métamorphiques supérieures, parce que les formations qui séparent l'Hudson de l'Atlantique sont formées par les diverses roches paléozoïques déjà décrites, tantôt présentant les caractères des terrains de transition, tantôt parfaitement cristallines et dépourvues de restes organiques. Toutes ces roches, cependant, quel que soit le degré de l'action métamorphique qu'elles ont subie, peuvent être classées sous le nom de roches métamorphiques supérieures, et distinguées d'une série plus ancienne de roches cristallines dont la stratification est discordante, comme on peut l'observer aux Petites-Chutes, New-York, le long de la vallée du lac Champlain et du Saint-Laurent et dans beaucoup d'autres localités. Les roches métamorphiques supérieures comprennent les roches quartzeuses, ou grès modifiés; les calcaires à grain fin, souvent micacés, blancs ou colorés; les roches schisteuses, variant des schistes tendres et fissiles, verts ou rougeâtres, aux schistes micacés et talqueux auxquels les premiers passent successivement, ainsi que diverses roches gneissiques, syénitiques et hornblendiques, qui toutes peuvent être clairement reconnues comme dérivant de roches stratifiées fossilifères de la période paléozoïque (1).

On a reconnu ces formations dans une grande partie de la Nouvelle-Angleterre, et ce n'est que sur de petites surfaces que les roches métamorphiques anciennes, si encore elles ont bien ce caractère, se rencontrent entre leurs limites. Le prolongement de la même formation au sud-ouest, dans une direction parallèle aux anciennes roches fossilifères, fait voir une large surface

(1) Le granite rapporté à une origine ignée ordinairement occupe comparativement un petit espace.

couverte par des roches de cet âge, occupant la même étendue que les formations paléozoïques du nord au sud.

La direction et l'inclinaison des couches qui composent cette formation sont ordinairement bien constantes, bien qu'en certains points et sur de petites étendues leur étude soit rendue difficile et obscure par des dislocations, des plissements et des contournements nombreux.

La plus grande partie de cette formation est formée de roches plus anciennes que celles de la période carbonifère, et nous leur trouvons superposées, dans l'est de la Nouvelle-Angleterre, ces roches carbonifères métamorphiques. Dans beaucoup de localités on peut suivre d'une manière nette le passage des roches métamorphiques aux couches fossilifères, et les restes organiques disparaissent graduellement à mesure que les lits prennent une structure plus cristalline, par suite d'une action métamorphique de plus en plus puissante : toute espèce de doute sur la cause de l'oblitération des fossiles se trouve ainsi levé.

Les roches de cet âge forment le trait physique le plus marqué dans la topographie de la contrée qu'elles occupent. Quand on entre dans les États-Unis au nord, par la vallée du Saint-Laurent, on trouve les roches paléozoïques d'abord dans leur condition normale et sans aucune altération, ne présentant que de légers changements lithologiques ; ces changements deviennent ensuite plus marqués, et les couches deviennent plus ou moins cristallines ; les fossiles s'oblitèrent graduellement, les lits s'inclinent parfois jusqu'à la verticalité, et souvent présentent une série de plissements ; enfin les roches s'élèvent en nombreuses collines et en chaînons, qui finissent par prendre le caractère de

chaînes de montagnes, telles que les montagnes Vertes de Vermont et les montagnes Blanches du New-Hampshire.

Roches dévoniennes métamorphiques. — Les roches altérées de la période des groupes de Chemung et de Portage, qui forment une partie du terrain dévonien, ont été reconnues en grandes masses à Gaspi par MM. Logan et Hunt, et l'on sait qu'elles sont très-développées dans l'état de Maine. Ces roches circonscrivent la partie orientale de la Nouvelle-Angleterre, en formant une partie des montagnes Blanches et en plongeant sous la formation carbonifère du Massachussets et de Rhode Island, constituent avec cette dernière la plus grande partie des formations métamorphiques et cristallines à l'est de la rivière du Connecticut.

Roches siluriennes métamorphiques. — Dans la portion de la contrée située entre la rivière d'Hudson, à l'ouest, et la rivière du Connecticut, à l'est, les roches plus ou moins métamorphiques appartiennent aux formations que nous avons décrites déjà dans le terrain silurien. Dans la partie occidentale de cette ceinture, les quartzites ou grès durs, les calcaires cristallins, et diverses roches schisteuses, reposent sur des lits de gneiss grossier et de hornblende, reconnus pour être de simples modifications et altérations du grès de Potsdam, du groupe du calcaire de Trenton et du groupe de la rivière d'Hudson, avec des lits accidentels et interrompus du conglomérat de Shawangunk, mélangé avec les schistes, et formant les sommets des éminences les plus relevées.

Les roches siluriennes supérieures ont été suivies par MM. Logan et Hunt, depuis les parties non altérées dans la vallée du Saint-Laurent jusqu'aux limites de l'État de Vermont, où elles prennent le caractère de

calcaires micacés, alternant avec des schistes micacés.

La partie inférieure de cette formation métamorphique, ou celle qui se compose principalement de schistes siluriens inférieurs associés à des lits arénacés, constitue la zone aurifère proprement dite, comme il a été abondamment prouvé par l'étude de leur prolongement septentrional, et les nombreuses observations qui ont été faites dans les États du Sud, autorisent à attribuer le même âge à la zone aurifère de Virginie, des deux Carolines et de la Géorgie. Il est impossible aujourd'hui de décider si le gisement aurifère de Californie est du même âge que ces roches métamorphiques supérieures des États-Unis de l'Est.

Produits exploitables des roches métamorphiques supérieures.

Or. — Le produit principal et le plus important des roches métamorphiques de cette période est l'or, qu'on rencontre en quantité plus ou moins abondante à travers toute l'étendue de la formation, depuis le Canada jusqu'à la Géorgie. L'or est extrait en partie de la roche même qui lui sert de gangue, ou des débris formés par suite de leur destruction par les agents naturels. Actuellement, les cailloux et le sable provenant de cette désagrégation sont exploités sur la rivière de la Chaudière dans le Canada; on a trouvé de l'or dans les roches et dans les galets de certaines localités de Vermont et du Massachusets ; mais on n'en a jamais retiré une considérable quantité. Ces faits semblent démontrer que l'or n'est point distribué indistinctement dans toutes les roches de cet âge, mais est en réalité confiné dans une ceinture comparativement étroite.

Minerais de fer.—Les gisements de fer directement en relation avec ces roches ne sont pas souvent productifs;

mais on trouve fréquemment des lits de minerai de fer d'une origine secondaire, provenant de la décomposition des pyrites de fer et d'autres motifs accidentels. On rencontre quelques minerais de fer en quantité suffisante pour permettre leur exploitation dans le Vermont et le New Hampshire; et plus au loin au Sud, dans le Massachusets, un ou plusieurs lits de peu de valeur.

Fer chromé et serpentine. — On trouve en beaucoup d'endroits, associé aux roches de cet âge, du fer chromé, des limites septentrionales des États-Unis jusqu'au Sud, en Virginie et probablement plus loin encore. Ces minerais ont été exploités dans le Maryland et la Pensylvanie. En connexion avec ces minerais, on rencontre des lits de chlorite et des roches de serpentine, probablement occupant la même étendue. La part de la formation qui les renferme néanmoins n'est pas continue, mais se montre à différents intervalles, et certains lits s'y trouvent dans la position où ils ont été originairement disposés. La serpentine, ou *Vert antique*, offre de magnifiques variétés, et parmi les localités qui le fournissent, on peut mentionner Millford, près New Haven, Connecticut et Cavendish, et d'autres villes du Vermont.

Minerais de cuivre. — On trouve fréquemment du cuivre sulfuré et carbonaté dans la région aurifère de Virginie et de la Caroline du Nord, et dans la même formation dans le Maryland. Les minerais de cuivre de Bristol, Connecticut et d'autres localités de cet état, doivent aussi leur être rapportés.

Minerai d'Étain. — Le docteur Jackson décrit de l'étain oxydé qu'il a trouvé dans la ville de Jackson, New Hampshire, et qui se trouve dans les roches de cette période. Du minerai d'étain en petite quantité

accompagne souvent l'or en Virginie et dans la Caroline du Nord.

Minerai de plomb. — On sait que la formation renferme de la galène, du plomb carbonaté, sulfaté et phosphaté, mais on n'a jamais essayé sérieusement de les exploiter. On trouve du plomb sulfuré en considérable quantité dans quelques-unes des mines de cuivre récemment ouvertes dans le Maryland.

Argent. — On trouve de l'argent natif dans le comté de Davidson et d'autres localités de la Caroline du Nord.

Pierres de construction. — Soit qu'on regarde les roches syénitiques de la Nouvelle-Angleterre comme appartenant à cette période, ou comme une roche éruptive ignée, elles sont néanmoins si intimement en liaison avec les roches métamorphiques dont nous nous occupons, qu'il est nécessaire de les envelopper dans un même examen. La syénite solide et durable des environs de Boston, connue sous le nom de calcaire de Quincy, si appréciée comme pierre de construction et d'un usage si général, appartient à cette formation. Plus à l'est, dans l'état du Maine, on exploite des matériaux de construction de la même espèce sur une vaste échelle. Cette syénite est d'une couleur plus claire que celle de Quincy, mais devient plus foncée par suite des actions atmosphériques.

Dalles. — On extrait des dalles et des pierres pour escalier dans presque toutes les parties de la formation.

Meules. — La syénite en certaines localités est suffisamment quartzeuse pour donner de bonnes meules qu'on dresse dans les environs de Salem, dans le Massachusetts, et en d'autres endroits.

Meules à repasser. — Les schistes talqueux et micacés de cette époque sont parfois assez siliceux pour être

employés pour meules à repasser et pierres à aiguiser.

Marbre statuaire. — On trouve dans ce terrain des marbres blancs et bigarrés de diverses qualités. Ils proviennent principalement du métamorphisme de quelques lits de calcaire silurien inférieur qui présentent des caractères différents dans leurs conditions normales. Dans l'État de Vermont, on a trouvé des couches d'excellent marbre statuaire.

On en trouve aussi d'excellent dans beaucoup de localités entre la frontière septentrionale de Vermont et la ville de New-York, et on en extrait de grandes quantités dans les États de Vermont, Massachusetts, Connecticut, New-York et de Pensylvanie.

Le marbre de ces localités est très-employé pour les constructions et les décorations, etc.; les variétés les plus grossières le sont pour paver et pour d'autres emplois analogues.

Mica. — Ce minéral, qui se rencontre dans les roches métamorphiques ou bien est associé à des roches éruptives cristallines, est exploité et l'on en retire tous les ans de grandes quantités pour les portes et les côtés des poëles qu'on fabrique en si grande quantité aux États-Unis.

Toute la quantité qu'on emploie est extraite à présent de deux localités seulement dans le New-Hampshire, Grafton et Acworth.

Exposition. — Les produits de cette formation envoyés à l'exposition étaient des échantillons d'or provenant de la roche en place dans le Maine, le Vermont (échantillon cristallisé dans du quartz), la Virginie, les deux Carolines et la Géorgie, et quelques-uns de Californie; d'autres, plus importants et plus nombreux, étaient des cailloux provenant de la destruction des roches et que nous avons déjà décrits dans le chapitre

du drift ou des alluvions. La Caroline du Nord avait envoyé de l'argent; le Connecticut, le Maryland et la Caroline du Nord, du minerai de cuivre; le Massachusetts, le Maryland et la Virginie, du minerai de plomb; le New-Hampshire, du minerai d'étain; la Pensylvanie et le Maryland, du fer chromé et des minerais de fer; le New-Hampshire, du plomb sulfuré; Vermont, Connecticut, New-York, différentes variétés de marbre; le New-Hampshire, du mica.

ROCHES MÉTAMORPHIQUES ANCIENNES OU INFÉRIEURES.

Dans beaucoup de parties des États-Unis, il existe de larges espaces recouverts de roches cristallines que leur âge et leurs caractères lithologiques distinguent complétement des précédentes. On a proposé d'adopter pour les désigner le nom de roches métamorphiques anciennes ou inférieures, pour les distinguer des roches altérées qui appartiennent évidemment à la période paléozoïque. On sait qu'elles sont d'une date antérieure et dans beaucoup de cas, sinon toujours, elles ont acquis leur structure cristalline et pris leur caractère métamorphique avant le dépôt des formations sédimentaires environnantes qu'il faut ranger parmi les roches anciennes paléozoïques. Dans beaucoup de localités, le grès de Potsdam, qui est la roche fossilifère la plus ancienne que l'on connaisse aux États-Unis, s'appuie dans une position horizontale, ou peu s'en faut, contre les masses inclinées, ou repose sur les hautes cimes formées par les roches de cet âge, dont la date antérieure est ainsi établie d'une manière évidente.

La formation consiste en une longue série de syénites, gneiss, schistes divers hornblendiques, micacés et talqueux, etc., avec calcaire très-cristallisé; toute la série conserve encore des traces évidentes de stratification

qui permettent de croire que les roches primitives sédimentaires ont été métamorphosées par des agents ignés. Comme témoins et preuves de ce changement, nous trouvons d'énormes masses éruptives de granite et d'autres roches généralement regardées comme d'origine ignée, qui ont pénétré les roches cristallines stratifiées, dont se compose en grande partie le système. Il est de même traversé par de nombreux dykes trappéens, qui sont quelquefois très-puissants et très-étendus. La roche principale et caractéristique de cette formation est un gneiss syénitique d'une texture généralement ferme et compacte. Les plans de stratification sont souvent obscurs et voilés par la structure granitique ou syénitique. L'une des substances qui accompagnent de la manière la plus constante et qui caractérisent cette formation est le minerai de fer magnétique.

Elle compose principalement la chaîne de montagnes qui s'étend au nord du Saint-Laurent, parallèlement au fleuve jusqu'aux Mille-Iles (*Thousand Islands*). On la retrouve à travers le Canada jusqu'aux bords du lac Supérieur; on l'observe sur les deux bords du lac, et de là elle se dirige à l'ouest jusqu'aux sources du Mississipi.

Quelques portions de la chaîne de montagnes du Maine et du New-Hampshire appartiennent peut-être à cette formation; mais leur étendue et leurs limites n'ont pas été bien définies, et les roches qui les composent n'ont pas été nettement distinguées des roches avoisinantes d'origine plus moderne (1).

---

(1) Au Canada, M. Logan a reconnu une autre série de roches métamorphiques, qui reposent sur celle que nous venons de décrire, et d'une date postérieure à nos roches métamorphiques supérieures, ce qui constitue trois divisions. Cette formation moyenne se compose de grès, de conglomérats avec

Dans le nord de l'État de New-York, cette formation forme des montagnes qui atteignent 5 000 pieds d'élévation, mais dont la hauteur est généralement moindre. Dans cette région, elle couvre un espace d'une forme à peu près triangulaire, qui a environ 150 milles de longueur du nord au sud et 125 milles de l'est à l'ouest ou du lac Champlain au fleuve du Saint-Laurent. Les points les plus élevés sont au centre de cet espace. La formation expire graduellement au nord et au sud, non sans produire néanmoins quelque dérangement parmi les roches siluriennes qui la recouvrent. Dans la partie méridionale de l'État de New-York, elle reparaît et forme des crêtes et des montagnes élevées qui cependant atteignent à peine la moitié de la hauteur de celle du nord. De la limite sud de cet État, elle pénètre dans celui de New-Jersey, en formant une rangée presque continue de montagnes depuis la frontière jusqu'au Delaware. De là à la frontière du Maryland, les roches métamorphiques anciennes s'étendent à travers le sud-est de la Pensylvanie, en formant deux ceintures étroites : l'une continue, l'autre formée seulement de chaînons isolés par les formations de date plus récente.

Les roches de cette période continuent à conserver la même direction dans le Maryland, la Virginie et la Caroline du Nord, et sont connues sous le nom de montagnes Bleues ou montagne du Sud. Les points les plus élevés, en Virginie, atteignent la hauteur de 4 000 pieds. La formation, qui continue à s'étendre au sud-ouest, se prolonge probablement, avec des interruptions plus

---

fragments de jaspe rouge, lits de schiste et calcaire : « Les schistes sont verdâtres, très-chlorités, et contiennent souvent de l'épidote ; souvent ils prennent le caractère de conglomérats, par suite de la présence abondante des fragments de syénite. »

ou moins prononcées, jusqu'aux limites méridionales des formations métamorphiques de l'Alabama.

Nous l'avons déjà montrée sur le bord du lac Supérieur; elle y forme une large zone qui s'étend, sauf de légères interruptions, sur toute la côte, depuis le voisinage de la rivière Camp à Point-Abbaye; elle s'étend ensuite à l'ouest et sur une largeur de plus en plus croissante dans le nord du Wisconsin, et dans la partie centrale de cet État descend vers le sud jusqu'à la hauteur du bord du lac Winnebago. La formation se dirige ensuite vers le nord-ouest et atteint le Mississipi au nord, aux chutes du Saint-Antoine.

On en trouve un rameau isolé dans le Missouri, un autre dans l'Arkansas et un troisième dans le Texas.

Produits exploitables des anciennes roches métamorphiques.

Minerais de fer. — Cette formation, considérée au point de vue économique, dans le Canada aussi bien qu'aux États-Unis, vient peut-être en seconde ligne après le terrain carbonifère. Les minerais de fer oxydé magnétique du Canada, formant des veines immenses ou des amas, ont occupé une place importante à l'exposition de Londres de 1851, et provenaient des roches anciennes métamorphiques. Ce minerai, soit formé d'oxyde magnétique pur, soit mélangé avec du peroxyde anhydre en proportions diverses, est partout caractéristique de la formation. Dans le nord de l'État de New-York, les montagnes sont traversées par des veines ou des lits de ce même minerai, qui présentent l'apparence de couches intercalées entre les schistes, et dont la puissance varie de 2 à 3 pieds à plus de 100 pieds, et peuvent souvent être poursuivies sur une longueur de plus d'un mille. On en exploite plusieurs aux environs du lac Champlain, où le minerai est converti directe-

ment en fer pour une part et pour une autre embarqué dans la vallée de l'Hudson pour le sud, où il est fondu avec des minerais de qualité inférieure pour améliorer la qualité du fer.

Les minerais de la région Aridondack, au nord de l'État de New-York, ont été traités avec succès dans les fabriques de fer de qualité supérieure et d'acier, qui ont envoyé aussi leurs produits à l'exposition de Londres en 1851. Dans l'ouest de la contrée métamorphique que nous avons décrite, les minerais de fer consistent principalement en fer peroxydé ou fer spéculaire. Dans le sud du même État, on trouve dans les mêmes roches des lits étendus de fer oxydé magnétique qui sont largement exploités. Il en est de même dans les États de New-Jersey, de Pensylvanie et de Maryland; mais plus loin au sud, ils ne semblent point avoir attiré l'attention.

Sur le bord méridional du lac Supérieur, les roches de cette catégorie contiennent des lits étendus et des veines de fer magnétique mélangé de fer peroxydé. Dans le prolongement occidental de la même formation et dans le voisinage de Montréal et de Bad-River, dans le Wisconsin, on sait qu'il existe des couches de fer oxydé magnétique. Les minerais de fer, mélange de fer magnétique et peroxydé, de la Montagne-de-Fer et de Pilot-Knob dans le Missouri, appartiennent à des roches du même âge. On trouve des minerais semblables dans la région métamorphique de l'Arkansas.

Minerais de cuivre. — Les roches de cette période, dans le nord de l'État de New-York, contiennent de petites quantités de minerai de cuivre en différents endroits, mais aucune mine n'a donné lieu à une exploitation fructueuse. La mine Bruce sur le lac Huron et d'autres sur le bord septentrional du lac Supérieur, où

l'on trouve du cuivre, surtout à l'état de sulfure, appartiennent à cette formation ou à la division métamorphique intermédiaire reconnue par M. Logan au Canada.

Minerais de plomb. — On trouve dans le même terrain des minerais de plomb à Rassie et dans son voisinage, dans le nord de l'État de New-York. Il faut rapporter aux gneiss du système les mines de cuivre et plomb des comtés de Montgomery et Chester, Pensylvanie, déjà mentionnées en connexion avec le nouveau grès rouge. Les veines exploitées permettent de fournir en abondance ces deux métaux. La ligne de démarcation entre ces roches et les nouvelles roches métamorphiques n'est point assez clairement définie dans la région méridionale pour nous permettre de désigner avec certitude les mines qui se trouvent dans l'une ou l'autre des deux formations. Dans cette direction, les deux séries paraissent être plus riches en minerais, sauf le minerai de fer, que dans les mêmes formations dans la Nouvelle-Angleterre et l'État de New-York.

Minerais de zinc. — La blende se trouve fréquemment associée aux minerais de plomb; mais jusqu'ici on n'a pu l'exploiter utilement. L'oxyde rouge de zinc et le franklinite de New-Jersey doivent être regardés comme appartenant à cette période. L'intime relation de ces produits avec les roches anciennes de gneiss, et les minéraux qui leur sont associés, semblent fixer leur âge, bien que les calcaires cristallins qu'on trouve dans la même association géologique soient regardés comme siluriens par le professeur Rogers.

Le zinc oxydé rouge est très-employé pour fabriquer de l'oxyde blanc (blanc de zinc), et le mélange de ce minerai avec le franklinite en poudre fine sert à faire avec de l'huile une couleur brune très-estimée. Bien que donnant du zinc d'excellente qualité, il ne reçoit pas au-

jourd'hui d'emploi métallurgique. Récemment, dit-on, on a traité le franklinite de la même mine avec succès, de façon à obtenir l'oxyde de zinc, et à réduire le cuivre : les deux opérations étant d'ailleurs conduites dans le même fourneau.

Chaux phosphatée. — Se trouve en cristaux fins ou en masse dans les roches de cet âge. On a trouvé dans une localité du nord de l'État de New-York une veine ou un lit de ce minerai, qu'on a un instant espéré utiliser comme amendement agricole. On en a trouvé une grande quantité dans le New-Jersey.

Terre à porcelaine. — Le granite proprement dit ne forme qu'une faible partie de la contrée occupée par les roches métamorphiques des États-Unis. On le trouve dans les deux formations à l'état de filons éruptifs, de dykes ou de masses plus étendues. Beaucoup de ces granites ont une structure grossièrement cristalline, et sont formés principalement de feldspath avec une petite proportion de mica et de quartz. Le feldspath, soit dans son état de décomposition partielle ou dans son état naturel, est largement employé dans les fabriques de porcelaine et de fine poterie.

Marbre et pierres de construction. — La formation métamorphique inférieure présente ordinairement une quantité abondante de calcaire grossièrement cristallin avec quelques lits de qualité supérieure. Aucun de ces calcaires ne mérite réellement le nom de marbre statuaire; on les emploie cependant pour beaucoup d'usages auxquels on destine ordinairement les variétés communes de marbre blanc ou taché, et dans beaucoup de localités elles donnent de bons matériaux de construction. Dans le nord de l'État de New-York, le calcaire est souvent mélangé à de la serpentine, ce qui lui donne une apparence bigarrée. Sur la côte méridio-

nale du lac Supérieur, ces marbres ont une belle couleur rose et sont traversés par des veines rouges; d'autres sont bleus et gorge de pigeon et admirablement veinés. Le gneiss et le granite de cette formation donnent d'excellents matériaux de construction d'une grande variété de couleur, et, dans beaucoup d'endroits, on peut les tailler en blocs très-massifs. Les endroits où les plus belles variétés se rencontrent ne sont pas facilement accessibles et sont éloignés des voies de communication importantes.

Pierres réfractaires, pierres à aiguiser, etc. — Les schistes talqueux de cette période fournissent souvent de bonnes pierres réfractaires qui peuvent être utilisées dans la construction des hauts fourneaux, quand les plans de division ne sont point trop nombreux et qu'on peut obtenir des blocs suffisamment épais. Quelquefois des lits plus fins de stéatite compacte sont associés au calcaire.

Les schistes contiennent parfois assez de silice pour qu'on puisse en faire des pierres à aiguiser ou repasser. On en a trouvé de bonne qualité, pour servir à cet emploi, sur le bord méridional du lac Supérieur.

Galène et minerais cristallisés. — On trouve de la galène cristallisée en quantité considérable dans les roches de cette période au nord de l'état de New-York.

Dans quelques localités elles sont extrêmement riches en beaux minéraux. Mentionnons seulement l'apatite, le zircon, le spinelle, le sphène, l'augite, la tourmaline, etc.

Le labrador, en grandes masses cristallines, n'est point rare dans le nord du New-York. Ce minéral, quand il est poli, a une très-belle apparence, et quelques-uns des plus beaux échantillons sont montés en or et employés dans la bijouterie.

Exposition. — Les roches anciennes métamorphiques étaient représentées par des minerais de fer du nord du New-York, du New-Jersey, de Pensylvanie et de Maryland; quelques larges masses de minerai venant du lac Supérieur et du Missouri, avec du fer de la plupart des mêmes localités, et des échantillons d'acier des mines d'Adirendack; des minerais de cuivre de Pensylvanie; des minerais de plomb du nord de New-York et de Pensylvanie; de l'oxyde rouge de zinc et de la franklinite, avec les produits qui en dérivent, du New-Jersey; des schistes durs du lac Supérieur.

On avait envoyé en outre de nombreux et magnifiques échantillons de minerais cristallisés provenant des anciennes roches métamorphiques du nord de l'État de New-York.

FORMATION TRAPPÉENNE.

Trapps rouges les plus modernes. — La formation de cette nature, la plus apparente dans les États-Unis de l'Est, est celle qui est associée au nouveau grès rouge dont nous avons déjà décrit l'étendue. Les roches basaltiques ou trappéennes accompagnent le grès dans la vallée du Connecticut et sont assez puissantes pour marquer les traits les plus apparents de la topographie de la contrée. Le mont Holgoke et le mont Tom, dans le Massachusetts, en sont des exemples frappants. Les roches de l'est et de l'ouest, près New-Haven, forment aussi des points élevés dans le pays et appartiennent à la formation trappéenne. Les trapps forment de nombreux dykes et des crêtes moins apparentes, souvent parallèles, et de longues ceintures continues qui suivent toute la longueur de la vallée jusqu'à 100 milles au-dessus de son embouchure. Les palissades de la rivière d'Hudson et de nombreuses éminences trappéennes

dans le New-Jersey appartiennent toutes à la même époque et présentent les mêmes relations géologiques. Enfin cette formation peut être encore suivie dans la Pensylvanie, le Maryland, la Virginie et la Caroline du Nord, et partout accompagne les grès.

Une des matières qui se trouve toujours associée à ces trapps est le cuivre natif; mais, sur toute leur étendue, on ne l'a jamais trouvé en quantité exploitable.

On trouve fréquemment des minerais de cuivre dans les grès qui sont au contact des trapps, et il semble y avoir quelque rapport entre la présence de ces amas minéraux et l'éruption des dykes. Les roches trappéennes qui appartiennent à cette période du nouveau grès rouge présentent souvent la structure en colonnes et sont divisées naturellement par des plans verticaux. Ce caractère est moins apparent dans les roches que nous allons décrire.

Trapps du lac Supérieur. — La deuxième grande formation trappéenne est celle du lac Supérieur, qui est en relation avec le grès du terrain silurien inférieur. Elle est développée de la manière la plus frappante à Keweenaw-Point et s'étend de là, en occupant une grande largeur, à l'est et à l'ouest, en suivant généralement les contours du lac. La formation est flanquée au nord par des conglomérats et au sud par des grès, et une ceinture étroite de trapp traverse le conglomérat sur toute sa longueur parallèlement à la formation centrale principale. Vers l'extrémité occidentale du lac Supérieur, la formation trappéenne est interrompue et ne se présente plus qu'en dykes isolés ou en crêtes qui percent le grès. L'île Royale présente à peu près les mêmes traits que Keweenaw-Point; le trapp y forme une rangée semblable et parallèle, mais le con-

glomérat y est peu développé. Sur le bord septentrional du lac, dans les limites des États-Unis, le trapp s'étend en nombreux rameaux étroits et en dykes qui tous sont dirigés vers l'ouest. Plus loin, en différents points situés entre le lac et le Mississipi, au-dessus des chutes de Saint-Antoine, on trouve encore fréquemment des lits de trapp.

Au delà de ce fleuve, on sait peu de chose de leur étendue et de leurs caractères; mais, d'après les informations que l'on possède, il paraît probable que la même formation se retrouve par intervalles entre le Mississipi et les montagnes Rocheuses.

Dans toute cette étendue, les associations sont si semblables qu'il est permis de rapporter avec certitude tous ces trapps à la même formation. Sur les bords de la rivière Sainte-Croix, ils forment de grandes protubérances et des nœuds à travers les lits à lingules du grès de Potsdam; et dans le nord du Wisconsin, on les trouve à peu près dans une position semblable, plus ou moins en relation avec le grès inférieur, mais fréquemment associés à de la syénite ou à du gneiss syénitique.

La formation trappéenne du lac Supérieur, là où elle atteint son principal développement, contient des quantités immenses de cuivre natif qui dans cette région caractérise toujours une certaine variété de trapp. Dans une carte de Keweenaw-Point, publiée récemment par M. Whitney, géologue des États-Unis, nous trouvons la description suivante : Trapp amygdaloïde, contenant du cuivre natif; trapp porphyrique, contenant du cuivre sulfuré, et trapp cristallin, où les filons ne sont point productifs. La principale partie de la formation en ce point est formée par la variété précédente; une ligne mince qui passe par le centre représente la por-

tion cristalline, et une étroite bordure au sud, qui s'unit au grès, appartient à la première variété.

Trapps de l'ouest. — On trouve des trapps et des basaltes à des intervalles fréquents depuis la frontière du Texas jusqu'au pays des Indiens Blackfoot et plus loin encore vers le nord. A l'ouest, dans la grande plaine qui s'étend entre les montagnes Rocheuses et la Sierra Nevada, des roches du même caractère se rencontrent fréquemment, mais leur position géologique n'est point connue. On trouve de même souvent et sur de vastes étendues des roches basaltiques et volcaniques au nord-ouest, dans les montagnes Rocheuses et le long de la Colombie jusqu'à la côte de l'océan Pacifique. Mais il serait impossible, sans dépasser les bornes de ce rapport, de rendre un compte général de toutes les observations qu'on a faites sur les roches ignées de cette vaste surface.

Trapps de la série métamorphique. — Un système de roches trappéennes d'un âge différent, consistant en trapps, diorites, porphyres, etc., traverse les roches métamorphiques de la période que nous avons précédemment indiquée. Elles n'affectent pas généralement d'une manière bien sensible la topographie de la contrée et ne paraissent pas avoir de relation avec le soulèvement de la chaîne montagneuse où on les rencontre. Elles le traversent en différentes directions et remplissent des fissures ou joints qui sont souvent parallèles entre eux. On rencontre partout ces dykes dans les États-Unis, mais ils sont plus nombreux sur le bord septentrional du lac Huron et du lac Supérieur.

Dans la partie orientale de la Nouvelle-Angleterre, et surtout près de la côte, ces dykes traversent les couches; et des ceintures plus étendues de roches semblables occupent des portions de la région métamor-

phique. Les bordures porphyriques semblent parfois le résultat d'un métamorphisme extrême qui aurait réduit en fusion des roches préexistantes.

Produits exploitables de la formation trappéenne.

Cuivre. — On a ouvert des mines nombreuses sur le bord méridional du lac Supérieur et l'on en extrait des quantités considérables de cuivre natif. Celui-ci est en feuilles plus ou moins épaisses ; il remplit des veines qui coupent la rangée trappéenne presque à angle droit et il est associé avec divers silicates de filons. Ces feuilles de cuivre ont une étendue variable et pèsent depuis quelques tonnes jusqu'à 80 tonnes. Pendant l'année 1853, les mines du lac Supérieur ont produit de 4.000 à 5.000 tonnes de cuivre.

L'une de ces mines avait envoyé à l'exposition une masse de cuivre natif pesant 6.300 livres; elle était coupée sur les quatre côtés et l'épaisseur entre les deux faces intactes était de plus de 2 pieds; cet échantillon provenait d'une masse pesant 40 tonnes.

On n'a pas encore exploité sur une grande échelle le cuivre sulfuré du trapp porphyrique de la côte méridionale du lac Supérieur.

Argent. — Le cuivre natif contient une petite quantité d'argent natif, et ce métal se présente aussi en nodules ou en masses irrégulières dans le cuivre, à la surface extérieure, soit du cuivre, soit du trapp qui l'environne.

Dans ce cas l'argent n'est qu'en petite proportion, mais on en a trouvé quelques masses importantes dans les débris, associées avec des fragments de cuivre natif. Plus récemment, on a exploité une veine d'argent sur le bord septentrional du lac Supérieur. Des échantillons avaient été envoyés à l'exposition.

Pierres de construction. — Les roches trappéennes, séparées par des points nombreux et divisés ainsi en blocs irréguliers, fournissent des matériaux grossiers qui peuvent être employés pour des murs ou d'autres parties des constructions. La rapide désagrégation de ces roches le long des palissades de la rivière d'Hudson, par l'action des eaux et de la gelée, permet d'en enlever une grande quantité qu'on transporte tous les ans à la ville de New-York et dans tous ses environs.

REMARQUES GÉNÉRALES.

L'esquisse que nous venons de tracer de la géologie d'une grande portion des État-Unis, envisagée au point de vue économique, peut faire voir que les grandes régions métallifères sont les deux rangées parallèles et presque contiguës de roches métamorphiques, qui s'étendent presque sans interruption depuis l'extrémité nord-est des États-Unis jusqu'à l'Alabama. A ces zones principales, il faut ajouter une surface d'une étendue considérable dans le nord de l'état de New-York, une autre de même caractère sur le bord méridional du lac Supérieur, une petite surface dans le Missouri, une dans l'Ackamas et une autre dans le Texas.

Sur la côte occidentale du continent, nous trouvons la ceinture métallifère qui borde le Pacifique et s'étend à travers la Californie et l'Oregon. On sait trop peu de chose des montagnes Rocheuses pour être autorisé à prédire avec quelque confiance l'avenir qu'elles promettent à l'industrie minérale.

On ne pourra ouvrir de mines permanentes et productives que dans les régions que nous avons décrites avec tant de rapidité. Les vastes dépôts où repose la richesse minérale sont donc situés à une distance modérée des côtes. La région si riche en cuivre et en fer

du lac Supérieur est traversée par des voies navigables qui communiquent par des canaux avec l'Atlantique. La formation carbonifère, source et fondement de toute activité industrielle, s'étend sur presque toute la longueur de la contrée, depuis les grands lacs au nord jusqu'au golfe du Mexique au sud.

La distribution naturelle de ces éléments de la puissance et de la prospérité, jointe aux caractères physiques de la contrée entière, répond à toutes les exigences, et partout l'on retrouve les matériaux et les stimulants nécessaires au progrès et au développement matériel d'une nation.

COMMISSION CENTRALE DES MACHINES A VAPEUR.

RAPPORTS, ET AVIS

DE LA COMMISSION SUR L'EXPLOSION DU BATEAU A VAPEUR LE CREUZOT N° 2.

Dans sa séance du 11 août 1854, à laquelle assistaient MM. Cordier, Combes, Thirria, Lamé, Lorieux, Lechatelier, Couche, Fournel, Callon, la commission, sur le renvoi de M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, en date du 29 juillet 1854, a pris connaissance des pièces concernant l'accident arrivé à bord du bateau à vapeur *le Creuzot n° 2*, et elle a entendu la lecture du rapport suivant, rédigé par son secrétaire adjoint.

Rapport de la commission de surveillance établie à Beaucaire.

Le 12 mars 1854, le bateau à vapeur *le Creuzot n° 2*, appartenant à MM. Gezin, Bouillon et Cie, marchands de sel à Lyon, est parti d'Arles, en remonte pour Lyon, avec un chargement de blé, riz, chanvre, vin, sel, etc., et il est allé stationner au-dessous de Roquemaure, au lieu dit le Vestidou (Vaucluse).

Le 13 au matin, vers sept heures, le bateau a repris sa marche en amont, et il s'est arrêté devant l'île située en face de Montfaucon (Gard), où il a été pris par les brouillards, ce qui a nécessité un arrêt de trois quarts d'heure : à neuf heures environ, il a repris sa marche.

A neuf heures un quart, le bateau était arrivé vis-à-vis la chapelle Saint-Martin (Gard), lorsque le patron de service ayant aperçu une sapine chargée de pierres qui descendait à l'encontre du bateau, et qui n'en paraissait éloignée que de 50 mètres environ, fit le signal : Doucement ! Ce signal fut

répété au mécanicien qui manœuvra en conséquence, et une demi-minute après l'explosion a eu lieu.

La chaudière est sortie violemment du bateau en brisant la carène, emportant des fragments du pont et elle est allée s'implanter, sans être retournée sens dessus dessous, mais en exécutant un quart de conversion vers la gauche, à 20 mètres de distance du bateau, sur la rive gauche du bras du Rhône, à 2 mètres environ du bord de l'île. Un aide-chauffeur, qui était assis sur le pont vis-à-vis de la chaudière, a été projeté en l'air, pour retomber dans le Rhône; son corps n'a pu être retrouvé; c'est la seule victime de l'accident. Le chauffeur de service a été légèrement brûlé par quelques grésillons enflammés, mais il n'a pas été atteint par la vapeur, pas plus que le mécanicien.

Au moment de l'explosion, le bateau s'est infléchi en deux, l'eau a gagné rapidement la portion fracturée, et le bateau reculant à la dérive est allé se fixer à 500 mètres environ au-dessous du point où l'explosion avait eu lieu.

Telles sont les principales circonstances de l'accident du 13 mars 1854.

Il n'a pas pu être fait de vérification du générateur.

Dispositions générales de la chaudière avant l'accident.

La chaudière à vapeur construite au Creuzot, il y a deux ans et demi, fut éprouvée et timbrée en fabrique pour un timbre de 3 atmosphères; elle a depuis lors été rééprouvée à Lyon le 1er mars 1853.

Le bateau *le Creuzot n° 2* fut permissionné à Lyon le 7 avril suivant.

Le rapport de la commission de surveillance de Lyon pour la délivrance du permis de navigation n'est pas parvenu entre nos mains, mais une lettre de M. l'ingénieur des mines de Lyon nous apprend que ce rapport constate que la chaudière a été rééprouvée le 1er mars 1853, et que la machine et la coque étaient en bon état de service.

La chaudière (*fig.* 1, 2, 3, Pl. I) est tubulaire, et comprend quatre massifs de tubes correspondant à chacun des quatre foyers; elle se compose de deux parties distinctes : la portion d'avant qui correspond aux foyers, laquelle a 3m,32 de longueur et 2m.72 de hauteur; cette portion de la chaudière a la forme d'un parallélipipède rectangulaire surmonté d'un demi-cylindre horizontal. La portion d'arrière a 2m,37 de hauteur sur 3m,87 de longueur (longueur des tubes); elle a aussi

la forme d'un parallélipipède rectangulaire surmonté d'un demi-cylindre horizontal, avec cette circonstance que la base du parallélipipède qui forme le fond de la portion tubulaire n'est pas une surface plane, mais une surface cylindrique présentant quatre saillies demi-cylindriques correspondantes aux quatre groupes de tubes.

Chaque foyer correspond à 28 tubes, ce qui fait 112 tubes pour toute la chaudière; mais il y lieu d'observer que 4 de ces tubes avaient été supprimés et remplacés par des tirants longitudinaux (*fig.* 1). Les tubes ont $0^m,10$ de diamètre.

Armatures. Les armatures de la portion tubulaire de la chaudière (celle qui a subi l'explosion) étaient disposées comme il suit:

1° 36 tirants longitudinaux parallèles à l'axe de la chaudière de $0^m,026$ de diamètre, généralement espacés de $0^m,25$;

2° 26 tirants transversaux ou entretoises, reliant entre elles les deux faces latérales, dont 14 établis à $0^m,12$ au-dessus des tubes, 12 à $0^m,49$ au-dessous des premiers entre le troisième et le quatrième rang de tubes; ces entretoises ont $0^m,025$ de diamètre;

3° 37 tirants inclinés, s'écartant peu de la verticale et reliant le fond de la chaudière à son dôme, par l'intermédiaire de fers à T. Ces tirants sont disposés en trois séries longitudinales, espacées de $0^m,80$ en moyenne, et viennent s'attacher par le bas aux trois *arêtes de rebroussement* A, B, C (*fig.* 2 et 3) que présente le fond de la chaudière, aux intervalles des quatre groupes de tubes; ils ont le même diamètre que les précédents; 13 de ces tirants viennent aboutir à l'arête de rebroussement B, située au milieu du fond de la chaudière parallèlement à son axe, tandis que les deux autres arêtes de rebroussement A et C de droite et de gauche ne portent chacune que 12 tirants.

Tel est le mode d'armature de la portion d'arrière de la chaudière qui renferme les tubes, et qui a supporté l'explosion.

Quant à la partie d'avant correspondante aux foyers et qui n'a pas souffert de l'explosion, disons sommairement qu'il y a treize poutrelles *p* (*fig.* 2) transversales formant le plafond des boîtes à feu qui sont reliées au dôme par 35 tirants diversement inclinés et rayonnant sur l'axe de la chaudière; tous ces tirants ont $0^m,025$ de diamètre. Les foyers sont reliés entre eux par des entretoises.

Les effets immédiats de l'explosion ont été les suivants : **Effets de l'explosion.**

La moitié du fond de la chaudière, dans la portion correspondante aux deux groupes de tubes du côté droit, a été arrachée. Cette portion arrachée était une surface cylindrique horizontale, dont l'arête a 3m,67 de longueur, et dont la section transversale était formée par deux demi-cercles représentant à la circonférence un développement transversal de 2m.512. **Chaudière proprement dite.**

L'arrachement suivant l'arête de rebroussement s'est fait nettement le long de cette arête, et l'on aperçoit aux cassures de la tôle des portions mal soudées où l'on distingue les traces des mises, ce qui indique une tôle de qualité médiocre. L'arrachement sur les autres faces s'est fait suivant des lignes moins nettes, où l'on voit des lambeaux de tôle présentant le même aspect que tout à l'heure. On distingue, dans le voisinage de la boîte à fumée deux déchirures profondes de 0m,95 et 0m,80 de hauteur, et une autre de 0m,60 de hauteur près de la plaque tubulaire des foyers. La tôle présente à plusieurs de ces déchirures les mêmes indices que tout à l'heure.

Telles sont les avaries principales causées par l'explosion à la paroi en tôle de la chaudière.

Il y a bien sur la paroi de droite une ouverture triangulaire à l'enveloppe des foyers ; mais cette ouverture faite de dehors en dedans paraît provenir des résistances éprouvées par la chaudière lorsqu'elle a été projetée hors du bateau.

La tôle des parois de la chaudière a 0m,012 d'épaisseur.

La moitié des tubes, savoir les deux groupes de droite, ont été entièrement enlevés de leurs viroles. Quatre de ces tubes ont été retrouvés dans le Rhône faussés et contournés ; ces tubes sont en cuivre, ils ont 0m,10 de diamètre et 0m,0025 d'épaisseur. **Tubes.**

La plaque tubulaire de la boîte à fumée présente une seule avarie, au point où les orifices de six tubes se trouvent réunis en un seul. **Plaques tubulaires.**

Les armatures présentent des avaries très-considérables. **Armatures.**

Sur les 36 tirants longitudinaux parallèles à l'axe de la chaudière, un a été arraché de son attache et faussé, et 4 autres ont été plus ou moins faussés.

Ces 5 tirants sont compris dans la partie droite de la chaudière ; les 31 autres tirants n'ont pas souffert.

Sur les 26 tirants transversaux ou entretoises, une ligne entière composée de 12 tirants, et passant entre le troisième et le quatrième rang de tubes, pour relier les deux parois latérales à leurs bases, a été arrachée des attaches de droite. Tous ces 12 tirants ont été arrachés du flanc droit et contournés au-dessous de la chaudière : 5 ont été cassés au filetage, et la cassure indique un fer de qualité ordinaire; les 7 autres ne sont pas cassés, mais leurs écrous de droite ont traversé la tôle de la paroi. Quant aux 14 tirants transversaux situés à $0^m,049$ au-dessus des précédents, tous ont été faussés, à l'exception de celui qui longe la plaque tubulaire du foyer; mais aucun d'eux n'a été cassé.

Quant aux 37 tirants inclinés reliant le dôme au fond de la chaudière, il y a lieu de les diviser en trois séries; une première série de 12 tirants, rattachant le dôme à l'arête de rebroussement A a complétement cédé; un de ces tirants a été cassé net a $0^m,010$ de la fourchette supérieure, et les pattes inférieures des 11 autres ont été cassées, ou bien les rivets sont partis; dans la deuxième série comprenant 13 tirants fixés sur l'arête de rebroussement B, il y a 7 tirants dont les pattes inférieures ont été cassées; enfin les 12 tirants de la troisième série, fixés sur l'arête de rebroussement C n'ont pas souffert.

Soupapes. La soupape d'arrière a été enlevée et la boîte de la soupape a été rasée au niveau du dôme.

La soupape d'avant a aussi été enlevée, mais d'une manière incomplète; le siége de la soupape est resté, et un fragment de la boîte de $0^m,25$ de hauteur est resté sur une portion du pourtour.

Le diamètre des soupapes était de $0^m,24$; l'un des poids et les deux leviers des soupapes n'ont pas été retrouvés. Le procès-verbal de réépreuve dressé à Lyon le 1er mars 1853, ne mentionne pas les chiffres légaux de charge des soupapes, mais il résulte d'une vérification faite à Beaucaire, le 6 août 1853, par M. Blanc, membre de la commission de surveillance de cette ville, que les deux soupapes étaient alors munies chacune de deux poids et leviers poinçonnés aux chiffres de $74^k,24$ et $1^m,05$. L'un des poids retrouvé dans le Rhône, après l'explosion, nous a été représenté, et portait en effet le chiffre de $74^k,24$ avec l'empreinte du poinçon.

Il y avait à la face d'avant de la chaudière deux tubes indicateurs qui ont été brisés, mais trois des robinets d'alimentation de ces tubes subsistent encore; le quatrième, situé au sommet du tube de droite, a disparu dans l'arrachement de la chaudière. **Devant de la chaudière.**

Les trois robinets indicateurs subsistent encore intacts.

Les ouvertures des foyers n'ont pas été dégradées, à l'exception de celle de droite où les deux petites portes inférieures ont été arrachées.

La tôle des foyers ne paraît pas avoir souffert; on remarque seulement deux boursouflures fort légères au foyer de droite, mais cette avarie peu importante semble tout à fait étrangère à l'accident. **Foyers.**

Mentionnons, au sujet des foyers, qu'une réparation avait été faite au deuxième foyer de gauche, et qu'on y avait mis deux pièces de tôle retenues par deux fers en équerre reliés eux-mêmes par un fort boulon de $0^m,36$ de longueur et de $0^m,03$ de diamètre. Aussitôt après l'accident, et lorsque la chaudière était encore submergée, on présumait que c'est à cette réparation qu'il fallait attribuer l'explosion; mais il y a lieu d'observer que cette réparation est intacte et ne présente aucune avarie. Ce n'est donc pas là qu'il faut chercher les causes de l'explosion.

Dans la vérification que nous avons faite de la chaudière, le 12 avril, nous fûmes frappés de la forme du fond de la chaudière dans la région des tubes, forme qui présente trois arêtes de rebroussement, et qui s'éloigne tellement de la forme de plus grande résistance, que tout l'effort de la vapeur doit se reporter sur les tirants plus ou moins inclinés qui relient le dôme à la paroi du fond. **Causes présumées de l'explosion.**

Nous fûmes ainsi conduits à penser que ces tirants avaient dû céder comme trop faibles.

Or ces 37 tirants, inclinés de $0^m,025$ de diamètre, supportaient, un effort de $11^k,15$ au moins par millimètre quarré, avec la marche à 3 atmosphères de pression nominale (1).

Dans des conditions pareilles, la rupture était imminente, et il est étonnant que ces tirants aient pu résister à l'épreuve

(1) Dans le calcul de l'effort des tirants verticaux, on n'a tenu compte que de la portion du fond comprise entre les deux arêtes extrêmes de rebroussement; ce qui est évidemment un minimum.

légale sans laquelle ils ont supporté un effort de $33^k,45$ par millimètre quarré.

On a vu du reste, par ce qui précède, que ces tirants verticaux ont été fort maltraités.

Quant aux 26 tirants transversaux ou entretoises de $0^m,025$ de diamètre, ils supportaient sous une tension nominale de 3 atmosphères, un effort de $4^k,38$ seulement par millimètre quarré; mais au moment de l'épreuve légale, ces entretoises ont été soumises à un effort de $13^k,14$ par millimètre quarré.

La faiblesse des tirants verticaux nous paraît donc être la cause principale de l'accident du *Creuzot*.

Nous devons aussi mentionner cette circonstance que la tôle paraît de qualité médiocre, de telle sorte qu'un tirant venant à céder, la tôle s'est déchirée suivant des lignes nettes, comme on le reconnaît à l'arête de rebroussement située au centre de la paroi du fond.

L'état des tubes supérieurs qui ne sont pas décapés, et l'état du foyer nous semblent indiquer en outre que ce n'est pas à un défaut d'alimentation de la chaudière que la cause de l'accident doit être attribuée.

Terminons, en rappelant cette circonstance que c'est aussitôt après un signal de ralentissement donné par le patron du bateau que l'explosion a eu lieu; la manœuvre du mécanicien a dû, à ce moment accumuler la vapeur dans la chaudière, et si les soupapes avaient été surchargées pour faciliter la remonte du navire dans les basses eaux, il est certain que l'accumulation subite dans la chaudière, d'une quantité considérable de vapeur à une tension supérieure à 3 atmosphères, expliquerait tout naturellement et l'arrachement des soupapes et la rupture de la chaudière; mais à cela nous devons objecter :

1° Que rien ne prouve que les soupapes fussent surchargées au moment de l'accident;

2° Que la rupture de la chaudière peut s'expliquer, sans surcharge des soupapes et avec la marche légale de 3 atmosphères, par les vices de construction signalés plus haut;

3° Que pour ce qui est de l'arrachement des soupapes, c'est un phénomène qui accompagne souvent les explosions, sans qu'on puisse en induire nécessairement qu'il y ait eu surcharge des poids de ces soupapes.

Nous concluons donc à placer, selon notre appréciation, la cause de l'explosion, dans les vices de construction de la chaudière mentionnés au présent rapport.

Fait à Alais, le 21 avril 1854.

L'ingénieur des mines, secrétaire,
Signé DUPONT.

L'ingénieur en chef des mines, président de la commission de surveillance,
Signé THIBAUD.

Rapport à la commission centrale.

Les circonstances de l'accident sont décrites avec beaucoup de précision dans le rapport ci-dessus. La faiblesse des tirants verticaux et des entretoises qui consolidaient la partie tubulaire de la chaudière est regardée par les auteurs de ce rapport comme la cause principale de l'accident; ils citent comme cause secondaire la qualité de la tôle, qui leur a paru médiocre sur divers points des déchirures produites par l'explosion.

Ils signalent en outre avec raison, sans doute, la forme tourmentée de la section transversale de la chaudière comme ayant contribué à fatiguer beaucoup les armatures.

Une semblable forme ne paraît, en effet, admissible qu'à la condition d'être rendue absolument invariable par un système bien complet de tirants, d'entretoises et de fer à T. Or, dans l'espèce qui nous occupe, il ne paraît exister dans l'intervalle entre les deux plaques tubulaires d'autres armatures que celles qu'indique le rapport, c'est-à-dire, outre les tirants longitudinaux qui n'ont joué aucun rôle lors de l'explosion, vingt-six tirants transversaux reliant entre elles les deux faces latérales et trente-sept tirants légèrement inclinés reliant le fond aux fers à T du dôme de la chaudière. Le dessin ci-joint n'indique rien de plus; ainsi ce fond était simplement consolidé par les trente-sept tirants et par les fers d'angle au moyen desquels il était fixé aux plaques tubulaires.

Il a, en projection horizontale, $3^m,87$ de longueur sur $3^m,52$ de largeur, soit $13^m,6224$ de surface. Sous la pression normale de 3 atmosphères dans la chaudière, il supporte donc une pression de 28.1439 kilogrammes.

Il est facile de s'assurer d'abord que, si l'on se place un instant dans l'hypothèse que le fond est parfaitement rigide et retenu *à la fois par les tirants verticaux et par sa liaison avec les parois verticales de la chaudière*, le système se trouve dans des conditions très-satisfaisantes de solidité qui ont pu donner au constructeur une sécurité trompeuse. En effet, chaque tirant a 25 millimètres de diamètre ou une section de 491 millimètres quarrés, soit pour les trente-sept tirants 18.167 millimètres quarrés. Le pourtour de la partie tubulaire est de $2(3^m,52 + 3,87)$ ou $14^m,78$; l'épaisseur de la tôle est de 10 millimètres, soit pour section 147.800 millimètres quarrés. La charge normale par millimètre quarré est donc seulement $\frac{281.439}{18.167+147.800} = 1^k,67$. Quant aux tirants transversaux, un calcul analogue donne une charge de $1^k,38$. Ces deux nombres sont inférieurs à ce qu'indiquerait la prudence la plus timorée.

Mais cette hypothèse que toutes les pièces travaillent de la même quantité n'est pas admissible. Par sa forme ondulée, le fond a naturellement une très-grande facilité à s'aplatir et à s'étendre dans le sens de la largeur. Cette facilité n'étant point détruite par la rigidité de fer à T convenablement distribuée sur la longueur, le fond s'étend en effet, et l'on comprend comment cette extension, combattue par la résistance des tirants transversaux, augmente d'abord la fatigue de ceux-ci, puis permet un affaissement du fond qui augmente bien plus encore la fatigue des tirants verticaux. Pour ces derniers, il est évident qu'on se fera une idée assez approchée des efforts qu'ils supportent vers le milieu du corps tubulaire où ils fatiguent le plus, en faisant abstraction de la liaison établie par les parois verticales, et supposant que les tirants seuls ont à résister à la pression de la vapeur sur le fond, chacun pour une quantité proportionnelle à la portion du fond qu'il supporte. Dès lors les treize tirants du milieu supportent, comme il est facile de s'en assurer, le quart de la charge totale, soit $\frac{281.439}{4}$ kilogrammes pour 491×13 millimètres quarrés ou $11^k,02$ par millimètre quarré.

Cette charge est évidemment trop forte, non-seulement en elle-même, mais encore à cause de l'épreuve légale que la chaudière a à supporter ; car lors de l'épreuve la charge s'é-

lève à 33k,06, effort capable d'énerver le fer, sinon même d'en amener la rupture immédiate.

Il n'est donc pas étonnant, comme cela a eu lieu en effet, qu'à un moment donné ces tirants de plus en plus affaiblis aient fini par céder. Une fois cette première rupture produite, les autres circonstances de l'accident s'expliquent d'elles-mêmes.

D'après les détails qui précèdent, je propose à la commission d'émettre l'avis suivant :

1° La commission pense, comme MM. les ingénieurs du Gard, que l'explosion est due principalement à ce que les armatures de la partie qui a fait explosion se sont trouvées insuffisantes par suite des changements de forme que tendait à éprouver le fond de la chaudière sous l'action de la pression intérieure;

2° Elle pense qu'il est utile d'appeler l'attention des commissions de surveillance et des constructeurs sur les circonstances dans lesquelles s'est produit l'accident du 13 mars, sur l'importance d'assurer l'invariabilité aussi complète que possible des chaudières qui peuvent avoir une tendance particulière à se déformer par la pression intérieure, et sur l'excès considérable de fatigue qui peut en résulter pour certaines pièces, lorsque la condition d'invariabilité n'étant pas suffisamment remplie, la déformation se produit en effet;

3° Elle propose, en conséquence, d'insérer le rapport de MM. Thibaud et Dupont, avec le présent avis, dans les *Annales des mines* et dans les *Annales des Ponts et chaussées.*

Le secrétaire adjoint,
Signé J. CALLON.

La commission, après en avoir délibéré, approuvant les observations contenues dans ce rapport, en adopte les conclusions.

Le secrétaire adjoint,
Signé J. CALLON.

Le président de la commission,
Signé J. CORDIER.

RAPPORT

SUR UNE EXPLOSION D'HYDROGÈNE CARBONÉ DANS LES TRAVAUX D'UNE MINE DE FER.

Par M. CASTEL, ingénieur des mines.

Un phénomène fort singulier dans une mine de fer, et dont aucun antécédent soit dans la mine même, soit dans le terrain qui la renferme, ne pouvait faire soupçonner l'apparition, s'est produit le 15 novembre 1853, dans la mine de la Voulte; un dégagement de gaz hydrogène carboné naturel y a donné naissance au feu grisou, et a occasionné pour quelques ouvriers des brûlures, heureusement sans gravité. Afin de rendre bien compte des circonstances de l'accident, il est nécessaire d'entrer ici dans quleques détails sur la position de la mine de la Voulte.

La couche de minerai de fer est comprise au milieu des marnes noires rangées dans la formation oxfordienne par tous les paléontologistes, qui y ont reconnu de nombreux fossiles caractéristiques de cet étage; elle diffère sous ce rapport de la couche de Veyras, beaucoup plus rapprochée du lias supérieur, et qui correspond pour les fossiles à l'argile de Dives. Ce dernier terrain manque à la Voulte, et le terrain jurassique inférieur n'y a qu'une faible puissance; les marnes sont presque immédiatement superposées aux micaschistes, en stratification discordante.

A cause de cette circonstance, les soulèvements qui ont relevé les micaschistes se sont fait sentir très-énergiquement dans les couches oxfordiennes. Non-seule-

ment elles sont fortement relevées aux affleurements, mais de nombreuses dislocations y existent; tantôt ce sont de simples coupures, tantôt ce sont des failles acccompagnées de rejets; ceux-ci sont quelquefois très-considérables, et il arrive que les deux portions voisines de la couche prennent des inclinaisons notablement différentes, comme si la force de soulèvement avait agi latéralement, et beaucoup plus fortement sur certains points que sur d'autres; enfin, vers le nord, les dislocations ont fait disparaître une portion notable du gîte.

L'inclinaison de la couche de minerai est variable; fortement relevée à l'affleurement, elle prend dans la profondeur une pente de 15 à 20 degrés.

Cette couche, exploitée depuis une trentaine d'années, a été d'abord attaquée à la surface; mais peu à peu les travaux se sont approfondis, et dans ces derniers temps notamment, en même temps que l'on exploitait la partie supérieure, on a poussé dans la partie inférieure des travaux de reconnaissance de manière à délimiter parfaitement la partie exploitable. C'est dans un travail de ce genre que l'accident qui nous occupe est arrivé.

La galerie Dumas, située à 100 mètres au-dessous du niveau de l'usine, suivant l'inclinaison, était arrivée à l'ouest à un point où la couche de minerai disparaissait complétement; on l'y avait arrêtée, et l'on avait commencé à l'extrémité une galerie à mi-pente destinée à suivre la limite de la couche jusqu'à la galerie horizontale immédiatement supérieure, située à 20 mètres au-dessus de la galerie Dumas. La percée n'était pas encore faite, le courant d'air manquait dans l'espèce de cul-de-sac formé par cette galerie de reconnaissance; mais à une petite distance dans la galerie Dumas, une galerie montante établissait un airage excellent, et

où les ouvriers pouvaient se retirer après l'explosion des coups de mines.

Cette galerie avait déjà 19 mètres de longueur; et à cette distance les deux ouvriers qui y travaillaient avaient rencontré une coupure du terrain, mais il n'y firent aucun attention, ces coupures, très-nombreuses dans la mine, n'ayant jusqu'alors donné lieu à aucune remarque. Toutefois un petit sifflement se faisait entendre, et au bout de quelques temps un des deux mineurs, en frappant de son pic contre la roche dure, fit jaillir des étincelles qui donnèrent lieu, au grand étonnement des deux ouvriers, à une flamme partant d'un point de la roche dans la coupure. Le jet, sortant par une ouverture assez fine, atteignait plus d'un demi-mètre de longueur; la flamme était bleue, jaune et rouge, sans odeur de soufre; c'était de l'hydrogène carboné. Un maître mineur, averti par les ouvriers de l'apparition du gaz, sortit de la mine pour aller prendre les ordres de ses chefs. Jusqu'à son retour il s'écoula un temps assez long, et l'on calcule que le gaz brûla pendant plus de deux heures. Il arriva enfin; mais à ce moment le jet s'était éteint de lui-même, évidemment à cause du défaut d'airage et de l'accumulation de l'acide carbonique produit. N'étant pas averti par les mineurs qu'un temps assez long s'était déjà écoulé depuis la disparition de la flamme, il s'avança jusqu'au fond de la galerie dans l'intention de boucher avec de l'argile le trou par lequel le gaz se dégeait; mais en approchant de l'extrémité il sentit une forte odeur de grisou, et se retourna immédiatement pour revenir sur ses pas. Il n'était plus temps : le contact de sa lampe allumée avec le gaz accumulé mit le feu à celui-ci; le maître mineur fut renversé, et une large flamme balaya toute la galerie, ainsi que l'extrémité de

la galerie Dumas, jusqu'au chemin d'air; elle s'éteignit presque immédiatement, et l'on put aussitôt relever les hommes blessés qui en furent quittes pour quelques brûlures sans gravité, sauf le maître mineur dont les mains et le visage avaient été plus fortement attaqués.

Dans l'ignorance où l'on était de l'abondance du gaz, on prit immédiatement les mesures propres à empêcher qu'il ne se répandît dans la mine; on établit à l'entrée de la galerie inclinée un double corrai en maçonnerie de manière à la fermer hermétiquement; ce travail fut promptement terminé.

Ce ne fut que quelques jours après, lorsque des lampes de sûreté, sans lesquelles on ne pouvait plus prudemment poursuivre le travail de reconnaissance de ce côté, furent arrivées, que l'on continua les travaux; mais on eut soin de les reprendre en sens inverse, en partant de la galerie horizontale supérieure, de manière à pouvoir établir immédiatement un courant d'air par la rupture du corrai de maçonnerie, aussitôt que l'on serait parvenu à la source du gaz. En peu de temps on arriva dans les environs de la coupure; on avait soin de ne marcher en avant qu'après avoir sondé le rocher. Enfin un dernier coup de sonde atteignit la galerie murée. Le trou ainsi produit ne donna pas de gaz combustible; on abattit le mur qui fermait cette galerie à sa partie inférieure, et les mineurs achevèrent leur percement avec un aérage satisfaisant. Des essais faits avec la lampe de Davy ne purent constater aucun dégagement de gaz; il ne s'en produisait plus.

Le dégagement que causa l'accident du 15 novembre ne pouvait donc être attribué qu'à une simple poche de gaz qui s'était vidée par la coupure dont nous avons parlé; l'accumulation d'hydrogène carboné ne pouvait d'ailleurs être bien considérable; mais d'où provenait

ce gaz? Devait-il être attribué au voisinage du terrain houillier, à des schistes bitumineux faisant partie du terrain de micaschistes, si rapproché de la mine, ou simplement à des petites couches de liquide existant dans le terrain oxfordien, lui-même, comme on en rencontre souvent dans le terrain jurassique? Jusqu'ici, et d'après les travaux qui ont été entrepris dans le but de rechercher son origine, c'est cette dernière opinion, la plus naturelle du reste, qui semble devoir être admise.

Ces travaux n'ont consisté, quant à présent, qu'en une galerie horizontale partant de l'extrémité de la galerie Dumas, et dirigée de manière à recouper à travers bancs les couches du terrain, et une galerie inclinée perpendiculaire aux couches. Toutes deux ont rencontré à peu de distance des couches de marnes renfermant des veinules de lignite, la marne est encore oxfordienne; la substance organique y est diminuée en petites plaquettes isolées dont l'épaisseur varie de 1 à 6 millimètres; c'est surtout aux approches de la coupure que cette épaisseur augmente. La cassure en est très-luisante et analogue à celle du jayet; exposée à la flamme d'un bougie, elle éprouve à sa surface une demi-fusion, se boursoufle beaucoup et brûle en donnant de la flamme; incomplétement brûlée, elle donne un résidu dont l'aspect est assez semblable à celui du coke. Cette substance diffère donc beaucoup des lignites ordinaires, et doit être attribuée à la décomposition de végétaux d'une espèce tout à fait différente de ceux auxquels ils doivent leur origine.

L'existence dans les marnes de l'Oxford-Clay, à une faible distance de la couche de minerai de fer, d'un lignite gazeux, même en aussi petite masse, suffit pour expliquer la présence du gaz combustible. Le gaz, se dégageant très-lentement de la matière végétale aux

abords des fissures qui abondent dans le terrain, se sera accumulé pendant longtemps dans quelque cavité souterraine; puis trouvant enfin une issue par la coupure que les travaux de la mine ont rencontrée, il se sera écoulé par là. La matière organique étant d'ailleurs peu abondante, et le gaz ne s'en dégageant qu'avec beaucoup de lenteur, le phénomène aura cessé de se montrer dès que la poche aura été épuisée.

C'est là du reste un accident tout à fait local; peut-être la présence du lignite n'est-elle pas particulière au point de la mine où on l'a signalée; mais aucune des nombreuses fissures rencontrées dans les travaux d'exploitation de la Voulte n'avait, comme nous l'avons déjà dit, donné lieu à une remarque de ce genre.

NOTICE

SUR LES MOYENS EMPLOYÉS POUR ABSORBER COMPLÉTEMENT LES VAPEURS ACIDES QUI SE DÉGAGENT DANS LA FABRICATION DES PRODUITS CHIMIQUES A L'USINE DE SAINT-ROCH-LES-AMIENS.

Par M. DE MARSILLY, ingénieur des mines.

Si, au point de vue industriel, la fabrication de la soude est un bienfait, elle est pour les localités qui en sont le siége une source d'incommodité et d'insalubrité; les vapeurs acides qu'elles rejettent dans l'atmosphère s'étendent au loin, s'abattant sur les arbres et les maisons qui avoisinent, et nuisent à la végétation et à la santé publique. La ville d'Amiens en a fait la triste expérience; la fabrique de soude de Saint-Roch-les-Amiens, malgré toutes les précautions prises par les propriétaires, donnait des émanations acides qui s'étendaient sur tout un quartier de la ville. Chargé par M. le préfet de proposer des mesures pour remédier à ces émanations, et quand ces mesures ont été ordonnées, de veiller à leur exécution et d'en constater le résultat, j'ai acquis la certitude qu'aujourd'hui toute émanation acide avait presque entièrement cessé.

Avant de décrire les procédés que le propriétaire de l'usine, M. Kuhlman, a employés pour absorber complétement les vapeurs acides qui s'échappaient dans l'atmosphère, il est utile de faire connaître la consistance de l'usine Saint-Roch et les divers genres de fabrication qu'on y rencontre.

Description sommaire de l'usine.

L'usine de Saint-Roch-les-Amiens fabrique spécialement aujourd'hui du carbonate de soude; cette fabrication en entraîne d'autres qui ont avec elle une connexion intime; le sel de soude s'obtient, comme on sait, en faisant réagir, sous l'influence de la chaleur, du charbon et du carbonate de chaux sur le sulfate de soude. Celui-ci est l'élément principal de la fabrication et la base de l'opération; on le prépare dans l'usine même en décomposant le sel marin par l'acide sulfurique. Il se forme du sulfate de soude et du gaz acide hydrochlorique; ce dernier est absorbé par l'eau en passant dans une série de bonbonnes en grès. Il est difficile de vendre tout l'acide hydrochlorique qu'on obtient; on n'a l'écoulement que d'une partie; pour écouler l'autre, on fabrique du chlorure de chaux dont les usages sont nombreux. S'il fallait acheter l'acide sulfurique nécessaire à la fabrication du sulfate de soude, le fabricant n'aurait que fort peu de bénéfices; la fabrication de l'acide sulfurique se rattache donc à celle du sulfate de soude, et par suite à celle du carbonate; enfin l'acide nitrique étant l'un des éléments qui concourent à la formation de l'acide sulfurique, on le fabrique aussi dans l'usine au lieu de l'acheter; l'usine de Saint-Roch-les-Amiens comprend donc :

1° Une fabrication de carbonate de soude;

2° Une fabrication de soude et d'acide hydrochlorique (ces deux fabrications ne sauraient être séparées);

3° Une fabrication de chlorure de chaux;

4° Une fabrication d'acide sulfurique;

5° Une fabrication d'acide azotique.

Tout le sulfate de soude est converti en carbonate; une partie de l'acide sulfurique est consommée dans la

fabrique, l'autre est vendue; il en est de même des acides azotique et hydrochlorique.

Fabrication du carbonate de soude.

Le carbonate de soude se produit en soumettant à l'action de la chaleur, dans un four à réverbère, un mélange de charbon, de calcaire et de sulfate de soude; cette opération ne présente aucune insalubrité non plus que celles qui la complètent, telles que dissolutions des sels, évaporations à siccité et cristallisations. Le législateur a rangé dans la troisième classe des établissements insalubres les fabriques de sel de soude à cause de la fumée qui sort des fours à réverbère; à Saint-Roch, la cheminée dans laquelle celle-ci se rend a 34 mètres de hauteur, ce qui est suffisant pour parer à l'incommodité qu'elle cause.

Fabrication du sulfate de soude et de l'acide hydrochlorique.

Le sulfate de soude se fabrique dans un four à réverbère; à la suite de la sole se trouve un compartiment qui en est séparé par un petit mur en briques et dont le fond est formé par une plaque en fonte; la flamme passe de la tôle sous cette plaque et la chauffe; c'est dans cette cuvette qu'on fait réagir le sel marin et l'acide sulfurique. Le sel marin est chargé par une porte placée sur le côté; après le chargement du sel on la ferme, puis on introduit, par un trou dont elle est munie, un siphon en plomb qui amène l'acide sulfurique sur le sel. Le gaz qui se dégage est amené par un conduit dans une série de bonbonnes à moitié remplies d'eau où il est absorbé; ces bonbonnes communiquent avec la cheminée haute de 34 mètres, où se rendent déjà les fumées de divers fours qui opèrent le tirage. Le nombre des bonbonnes, au 1er octobre 1853, était de 56; l'absorption de l'acide n'était pas complète, une proportion notable s'échappait par la cheminée.

On charge à la fois 266 kil. de sel et 279 kil. d'acide sulfurique de 58 à 60° de l'aréomètre.

La décomposition dans la cuvette est terminée au bout de huit heures; alors l'ouvrier ouvre une porte qui donne de la cuvette sur la sole, et avec un râble y jette le résidu; ce résidu se compose de sel marin non décomposé, et de bisulfate de soude. Là, sous l'influence d'une forte chaleur, le bisulfate réagit sur le sel marin non décomposé et donne lieu à du sulfate de soude et à une nouvelle quantité d'acide hydrochlorique; ce gaz se dégage par deux ouvertures pratiquées dans la voûte et passe, avec ceux provenant de la combustion, dans deux séries de bonbonnes qui aboutissent à la grande cheminée.

Le nombre de bonbonnes était de vingt-huit, l'absorption non plus n'était pas complète; le mélange de l'acide avec l'autre gaz rend l'absorption plus difficile.

Quand la calcination est complète, on fait tomber la charge sur le carreau de l'usine près de la porte de la calcine; il y a toujours alors de l'acide qui se dégage. Pour éviter d'incommoder les ouvriers, on a placé une hotte au-dessus de la porte de déchargement; elle communique avec une cheminée qui attire le gaz acide; il y a sept ou huit bonbonnes où il s'absorbe.

Là aussi l'absorption n'est pas complète; mais le dégagement du gaz étant très-faible, l'inconvénient qui en résulte est négligeable.

En résumé, on voit que l'eau contenue dans les bonbonnes n'absorbe qu'incomplétement les vapeurs acides, qu'il y en a toujours une partie notable qui passe dans la cheminée et se dégage dans l'atmosphère, soit lors de la décomposition du sel dans la cuvette, soit lors de la calcination du résidu de l'attaque.

Il y a trois fours dans l'usine Saint-Roch, qui tous trois marchent presque constamment.

La quantité de sel décomposé en vingt-quatre heures

est de 678 kil. par four, soit pour trois fours de 2.034 kil.

Admettons que le sel gemme employé renferme 95 p. 100 de chlorure de sodium; la quantité d'acide qui se forme quand la décomposition est complète s'élèvera à 1.205 kil.; soit 10 p. 100 la perte en acide qui se dégage dans l'atmosphère; elle sera de 120 kil. en vingt-quatre heures, de 5 kil. par heure et de $0^k,0833$ par minute, enfin de $0^k,0277$ par minute et par four. 1 kil. d'acide représente 800 litres, nombre rond, de gaz sec à la pression de $0^m,76$ et à la température de 0°. Ainsi répartie, la perte d'acide paraît très-faible; mais il y a des moments où elle est presque nulle, d'autres où elle est très-forte au contraire; en outre, la température et la pression de l'atmosphère et diverses circonstances augmentent par moments la proportion d'acide perdu. En admettant 10 p. 100, je crois être au-dessous du chiffre réel.

C'est au commencement de chaque opération pendant les deux premières heures que le dégagement d'acide est le plus abondant et que la perte est la plus considérable; à cette cause, le matin, vient s'en joindre une autre : c'est l'heure où l'on vide les bonbonnes saturées en tête de la série, où l'on reporte les eaux faibles des dernières bonbonnes et où on met dans celles-ci de l'eau nouvelle. Les moyens d'absorption sont diminués au moment où ils devraient être les plus puissants; aussi ai-je toujours remarqué alors des émanations considérables.

Elles sont aussi plus fortes la nuit que le jour; car les eaux des bonbonnes ne sont renouvelées qu'une fois en vingt-quatre heures, le matin; elles sont donc plus chargées d'acide la nuit et par conséquent jouissent d'une puissance d'absorption moins grande.

C'est surtout aux émanations d'acide hydrochlorique qu'est due l'insalubrité de l'usine de Saint-Roch ; elles ne sont point pestilentielles, mais elles causent une sensation pénible et très-désagréable, elles produisent en un mot tous les effets de l'acide hydrochlorique, qui sont bien connus.

Fabrication du chlorure de chaux.

La fabrication du chlorure de chaux est un annexe peu important ; les émanations auxquelles elle donnait lieu ne dépassaient guère le rayon de l'usine ; on a cependant avisé au moyen d'y remédier.

Le chlorure de chaux s'obtient en faisant réagir le chlore sur de la chaux ; le chlore est préparé dans de grands vases en grès, chauffés par un bain de chlorure de calcium fondu, dans lesquels on met de l'acide hydrochlorique sur du bioxyde de manganèse ; il est amené par des tuyaux en plomb dans une série de petites chambres sur le plancher desquelles est une couche de chaux de $0^{m},10$ environ d'épaisseur.

Une opération dure quarante-huit heures.

Quand la chaux est saturée, on ouvre les portes et on décharge les chlorures.

Il y a toujours du chlore qui se dégage en ce moment ; il s'en dégage aussi quand on retire les résidus des vases où se fait la préparation du chlore ; dans le courant de l'opération il n'y a point de perte sensible.

On compte à l'usine Saint-Roch huit vases producteurs de chlore et 6 séries de chambres ; la production de chlorure de chaux en quarante-huit heures est de 330 kilogrammes environ.

Fabrication de l'acide sulfurique.

La fabrication de l'acide sulfurique est, après la fabrication de l'acide hydrochlorique, celle qui donne les émanations les plus fortes ; les gaz ont un caractère plus pernicieux ; les gaz nitreux détruisent énergique-

deux cornues par foyer. A l'usine de Saint-Roch, on compte un foyer en activité et un en réparation.

Au commencement de l'opération, l'acide nitrique subit une décomposition et donne des vapeurs nitreuses; elles cessent bientôt, et l'acide distille sans qu'il y ait des émanations au dehors.

En résumé, l'insalubrité de l'usine de Saint-Roch était due spécialement :

1° Aux émanations de gaz hydrochlorique non absorbées;

2° Aux vapeurs intenses entraînées par l'azote de l'air hors des chambres de plomb où se fabrique l'acide sulfurique.

La fabrication du carbonate de soude n'avait rien d'insalubre; il y avait peu d'inconvénients inhérents à celle du chlorure de chaux et de l'acide nitrique.

Moyens employés pour remédier à l'insalubrité de l'usine.

1° Acide chlorhydrique.

Nous examinerons maintenant les procédés employés pour remédier à l'insalubrité de l'usine, et les résultats qu'ils donnent. Un moyen qui avait été proposé pour préserver la ville des émanations d'acide hydrochlorique consistait à élever une cheminée de 70 mètres de hauteur; les vapeurs ne se seraient abattues sur la ville qu'après avoir été délayées dans un volume d'air considérable et n'auraient point produit d'effet nuisible. M. Kuhlmann s'est élevé contre ce moyen et avec raison; il a fait observer qu'une semblable cheminée déterminerait un appel énergique, et que les émanations seraient plus considérables; sans doute un plus grand volume d'air aurait délayé les vapeurs avant qu'elles ne fussent abattues, mais on peut remarquer que, par par un temps humide, elles descendent très-vite et ont une action sensible. En élevant une cheminée de

70 mètres (1), on courrait donc le risque d'étendre sur un rayon beaucoup plus grand les inconvénients qui n'atteignent qu'un seul quartier; il valait beaucoup mieux chercher les moyens d'absorber complétement les gaz. La cheminée actuelle est assez haute pour que la petite quantité de gaz qui pourrait s'échapper encore, après l'application de nouveaux moyens d'absorption, fût sans effet sensible.

Le but qu'on s'est proposé a donc été l'absorption complète de l'acide. On a d'abord augmenté considérablement le nombre de bonbonnes; il a été porté à soixante-six pour les gaz se dégageant de la cuvette du four et à dix-huit pour chacune des deux séries correspondant à la calcine.

A la suite de la série des soixante-six bonbonnes, on en a placé quatre autres de grandes dimensions, dites à cascades, dont l'effet est de compléter l'absorption; ces bonbonnes (Pl. I, *fig.* 5) sont en grès et présentent, comme toutes les bonbonnes, deux tubulures latérales pour recevoir les raccords; au bas est un orifice pour l'écoulement des liquides et en haut une large ouverture, par où l'on introduit un panier de forme conique en osier à claires-voies, ou bien un vase en grès de même forme criblé de petits trous latéralement; dans ce panier on place du coke en gros morceaux.

Le couvercle, de forme sphérique, est aussi en grès; ses rebords posent au fond d'une petite rainure circulaire qui termine la bonbonne; on y met de l'eau, ou mieux de l'acide sulfurique qui ne se volatilise

(1) A la fabrique de produits chimiques de Chauny, la cheminée qui reçoit les vapeurs acides qui ont échappé à l'absorption a 50 mètres de hauteur; c'est la hauteur qu'il conviendrait en général d'adopter.

point, et on a ce qu'on appelle une fermeture hydraulique.

Le haut du couvercle est muni d'un trou large comme un petit bouchon qui se termine en godet et reçoit un tuyau en plomb percé vers l'extrémité latéralement de deux à trois petites ouvertures; il y en a une aussi tout à fait au bout.

Le jeu de la cascade est facile à comprendre; de l'eau arrive dans le godet, tombe dans le tuyau en plomb et s'échappe dans la bonbonne en trois ou quatre petits filets divergents qui se répandent sur le coke; elle tombe ensuite de morceaux en morceaux jusqu'au fond et s'écoule par l'ouverture inférieure. Les gaz qui arrivent dans la bonbonne sont obligés de tourner autour du panier en osier et se trouvent par conséquent en contact forcé avec l'eau non saturée qui dégoutte le long des morceaux de coke; l'acide est absorbé et l'eau acidulée s'écoule immédiatement. La venue d'eau dans les bonbonnes est réglée par des robinets qu'on ouvre plus ou moins; il y a une grande bâche remplie d'eau placée à un niveau supérieur à celui des bonbonnes; c'est de là que partent des tuyaux amenant l'eau à chacune d'elles; chaque tuyau adducteur est muni d'un robinet près de son orifice.

Tel est le système ingénieux adopté par M. Kuhlmann; il place quatre vases à cascades à la suite d'une série de soixante-six bonbonnes correspondant à la cuvette et deux à la suite de chacune des deux séries de dix-huit bonbonnes correspondant à la calcine.

Pour apprécier le mérite de ce système à la suite de quatre bonbonnes à cascade, j'en ai fait mettre deux autres; les bonbonnes sont placées sur deux rangs ou deux files et les gaz se bifurquent entre elles; à chaque rangée correspondait donc une bonbonne à cascade.

J'y ai fait placer du coke qui n'avait pas servi, et au lieu d'employer de l'eau, j'ai pris une dissolution de carbonate de soude étendue dont le titre avait été déterminé par un essai préalable; cette dissolution était placée dans un réservoir spécial (1).

L'expérience a commencé à 8 heures 1/2 du matin et a fini à 4 heures du soir; c'est à 6 heures du matin qu'on avait chargé le sel marin; à 2 heures une nouvelle opération a recommencé; l'expérience a donc embrassé toute la série des faits ordinaires qui peuvent se présenter dans le cours de la fabrication.

Le volume d'eau qui est arrivé dans les quatre vases à cascade de la série correspondant à la cuvette est de 648 litres.

Le volume de dissolution de sel de soude écoulé pendant le même temps s'élève à 600 litres; il a été recueilli dans des bouteilles de grès de 60 litres chacune. A chaque bonbonne à cascade, on a recueilli cinq bouteilles de dissolution; les deux premières bouteilles ont été remplies de 8 heures 1/2 à 10 heures, les deux secondes ont été remplies de 10 heures à 11 heures 1/2 et ainsi de suite; en sorte qu'en faisant l'essai alcalimétrique du sel contenu dans chacune d'elles on pouvait juger de la quantité d'acide absorbé pendant la période de temps employée à la remplir.

La dissolution titrée avec l'acide sulfurique normal marquait 33°.

---

(1) On avait essayé l'emploi des eaux ammoniacales provenant des usines à gaz; mais elles renferment beaucoup de sulfhydrate d'ammoniaque. L'acide hydrochlorique neutralisé dégageait une quantité équivalente d'acide sulfhydrique; le remède était pire que le mal.

Après avoir servi, elle a donné les résultats suivants :

		1re rangée de bonbonnes intérieures.	2e rangée de bonbonnes extérieures.
8h 1/2 à 10h ,	1re bouteille. . . .	17°	28°
10h à 11h 1/2 ,	2e —	30°	32°
11h 1/2 à 1h ,	3e —	32°	32° 1/2
1h à 2h 1/2 ,	3e —	31°	32°
2h 1/2 à 4h ,	5e —	28°	33°

De 8 heures à 10 heures du matin se fait la vidange des bonbonnes : on vide celles qui sont en tête de la série et on y reporte l'acide faible qui se trouve dans celles de queue; aussi voit-on qu'une portion notable d'acide échappe à l'absorption. L'effet est plus sensible dans la rangée intérieure que dans la rangée extérieure, parce que l'on travaillait davantage aux bonbonnes de cette rangée. C'est aussi vers 8 heures du matin que le dégagement de gaz est le plus abondant; cette cause de perte s'ajoute à la première.

La perte de 8 heures 1/2 à 10 heures s'élève à 944 grammes, soit pour une heure à 630 grammes et par minute à 10 grammes.

De 10 heures à 11 heures 1/2, la quantité d'acide absorbé par le sel de soude est faible, les eaux marquent 2 degrés de moins; de 11 heures 1/2 à 1 heure, c'est plus faible encore : il y a à peine 1 degré; de 1 heure à 2 heures 1/2, il y a une différence plus grande : une opération nouvelle est commencée; enfin de 2 heures 1/2 à 4 heures, la dissolution recueillie a perdu 4 à 5 degrés, beaucoup moins que le matin. On le voit, elle accuse toutefois un dégagement d'acide notable.

Si l'on calcule la quantité d'acide hydrochlorique absorbée par la dissolution saline, on arrive aux chiffres suivants :

La première bonbonne de la première rangée a absorbé $0^k,8460$ d'acide hydrochlorique pur.

La première de la deuxième rangée. . . . . 0 ,2644

Total. . . . . 1 ,1104

Cela fait par heure $0^k,740$ et par minute $0^k,0123$.

Pendant les heures suivantes, l'absorption est descendue à 1 gramme par minute.

En même temps j'ai procédé à une expérience analogue sur l'une des deux séries de dix-huit bonbonnes correspondant à la calcine ; mais ne pouvant point disposer des bonbonnes à cascade pour mettre à la suite de celles qui y étaient, j'ai fait arriver dans celles-ci la dissolution de soude ; les résultats obtenus font connaître seulement la quantité de gaz acide qui échappe à l'absortion des dix-huit bonbonnes ordinaires.

Ils sont consignés dans le tableau suivant :

Volume de la dissolution écoulée de 8 heures 1/2 à 4 heures 1/2 : 300 litres, recueillis dans cinq bouteilles en grès.

La dissolution était à 33°.

1re	bouteille.	16°
2e	—	25°
3e	—	23°
4e	—	25°
5e	—	20°

On voit que la quantité de gaz qui échappe à l'action absorbante des bonbonnes ordinaires est considérable, et qu'à leur suite doit être nécessairement placé un appareil d'absorption ; l'acide qui provient de la calcine est mêlé avec les gaz de la combustion, ce qui rend son absorption complète par l'eau plus difficile. On voit aussi que c'est peu de temps après le chargement que la perte est la plus grande. Le résidu de l'attaque vient d'être rejeté sur la sole du four et subit en ce moment l'action d'une forte chaleur ; le dégage-

ment est toujours plus considérable quand la calcination commence que quand elle touche à sa fin.

On peut admettre, d'après les chiffres précédents, que la perte des gaz de la calcine est égale à celle des gaz de la cuvette; elle est probablement supérieure. Dans cette hypothèse, la perte maxima de gaz par heure et par four serait de $1^k,260$; ce chiffre est presque égal à la perte moyenne qui se produisait autrefois et que nous avons évaluée à $1^k,666$. De 10 heures à 4 heures, les chiffres sont beaucoup plus faibles; on peut regarder la perte d'acide comme insignifiante.

Nous pouvons donc conclure que le mode d'absorption expérimenté peut suffire dans le cours de l'opération, mais qu'il n'est pas assez puissant lorsque le dégagement d'acide est abondant ou que les moyens ordinaires d'absorption sont momentanément diminués.

Cette conclusion paraît d'autant plus fondée que le carbonate de soude lui-même pouvait bien laisser échapper du gaz acide sans l'absorber; la perte réelle est sans doute plus forte que celle qu'on déduit de l'affaiblissement du titre de la liqueur.

D'autres objections se présentent aussi contre ce procédé.

Les paniers en osier qu'on emploie s'attaquent assez rapidement par l'acide, il faut les renouveler souvent; si l'on prend des vases en grès criblés de petits trous, le contact de l'eau et du gaz n'a pas lieu d'une manière assez intime; l'eau ne peut pas absorber tout l'acide. Il y a toujours de la vapeur entraînée, puisqu'il y a un tirage, et cette vapeur en présence de l'eau reste chargée d'acide; mais l'objection capitale est celle-ci : la quantité d'eau employée est trop faible.

On ne peut faire écouler hors de l'usine les eaux acides; la rivière est éloignée. La police interdit avec

raison l'écoulement d'eaux acides sur la voie publique; d'autre part on craindrait en perdant les eaux acides dans le sol d'infecter les puits voisins. Il faut utiliser dans l'usine les eaux acidulées ayant servi à l'absorption; on les recueille dans un bassin en plomb et on les met dans les bonbonnes. On est donc limité par la fabrication de l'acide qui consomme seulement 270 litres d'eau par four et par vingt-quatre heures; c'est là la quantité d'eau qu'on peut faire servir à l'absorption. Elle a paru tout à fait insuffisante, surtout dans les moments où le dégagement du gaz est le plus plus fort; les expériences citées plus haut justifient cette appréciation,

Voici quelques légères modifications que j'ai apportées et le système auquel je me suis arrêté définitivement; les résultats qu'il a donnés sont tout à fait satisfaisants.

J'ai fait placer dans les grandes bonbonnes de la chaux éteinte avec une certaine quantité d'eau, jusqu'à moitié environ du vase, puis de gros morceaux de coke, les plus gros que j'aie trouvés dans les magasins du chemin du Nord à Amiens; ils ont $0^m,20$ à $0^m,30$ de largeur sur $0^m,40$ à $0^m,50$ de hauteur; on en remplit la bonbonne jusqu'au haut en ayant soin de ne point les tasser.

L'écoulement du liquide se fait par un tuyau recourbé qui débouche au bas de la bonbonne et qui prend vers le milieu du vase; il règle le niveau de l'eau.

On fait arriver comme précédemment de l'eau du réservoir.

Dans celui-ci est de la chaux; l'eau qui en coule est donc de l'eau de chaux; elle contient un principe capable de fixer l'acide.

On comprend de suite que les gros morceaux de coke qui laissent entre eux de larges interstices et présentent une surface rugueuse, divisent bien mieux le courant de gaz que les paniers et présentent beaucoup plus de points de contact; le coke est susceptible d'absorber 30 à 40 p. 100 d'eau; l'eau qui tombe est chargée de chaux; celle qui se trouve dans le vase en est également saturée. La puissance d'absorption est donc très-grande; l'acide hydrochlorique formant avec le calcium un sel fixe, le chlorure de calcium n'est plus susceptible d'être entraîné une fois que la combinaison est faite.

Il est à remarquer aussi que la dissolution de chlorure de calcium est plus dense que celle d'eau de chaux; celle-ci tend donc à rester à la surface dans la bonbonne, circonstance favorable à l'absorption.

L'eau qui sort des bonbonnes à cascade n'est pas acide lorsqu'on la fait arriver en quantité suffisante; on peut la laisser couler sur la voie publique ou la perdre dans des puits absorbants. Rien ne s'oppose par conséquent à ce qu'on emploie des quantités d'eau plus considérables pour l'absorption.

Enfin les gaz avant de se rendre à la cheminée suivent un conduit de plusieurs mètres de longueur dans lequel on met de la chaux pour enlever les dernières traces d'acide. On remarquera que ce moyen se prête à toutes les nécessités de la fabrication : quand le dégagement des gaz doit être très-abondant, que l'on vide les bonbonnes ou que toute autre circonstance de nature à amener des pertes de gaz se présente, il suffit d'ouvrir davantage les robinets pour faire arriver plus d'eau de chaux; on peut encore lever le couvercle et jeter sur le coke de la chaux en poudre préalablement éteinte.

Il me paraîtrait utile d'adopter une petite modification de détail pour l'écoulement de l'eau des bonbonnes; d'après les dispositions actuelles, le chlorure de calcium forme une couche au-dessus de la chaux, c'est l'eau de chaux qui surnage et s'écoule. La bonbonne devrait porter une tubulure latérale avec un tuyau de vidange qui plongerait dans l'eau et arriverait à $0^{m},10$ de la chaux; il prendrait ainsi le chlorure de calcium et l'amènerait dehors, l'eau de chaux resterait. Cette disposition est celle adoptée pour les vases qui servent à l'absorption des vapeurs intenses, et que je décrirai plus loin; il y aurait cette différence que le tuyau ne descendrait pas au fond.

Le même mode que plus haut pour constater les pertes d'acide a été employé; l'expérience a duré vingt-quatre heures, depuis 3 heures de l'après-midi jusqu'à 4 heures le lendemain; le titre de la dissolution était de 33° 1/2 à 34°.

Pour mieux apprécier les différences, nous avons affaibli de moitié la liqueur alcalimétrique, en sorte qu'il faut prendre la moitié des différences.

	Série extérieure.	Différ.	Série intérieure.	Différ.
Midi à 2^{h} (fin de l'opération)	33° 1/2	1/2°	33° 1/2	1/2°
2^{h} à 3^{h} (commencement d'une opération)	31° 1/2	2° 1/2	31°	2°
4^{h} à $^{h}7$	32°	2°	32° 1/2	1° 1/2
7^{h} à 10^{h} (fin de l'opération)	33°	1°	33°	1°
10^{h} du soir à 1^{h} du matin	31° 1/2	2° 1/2	32°	2°
3^{h} à 6^{h}	33°	1°	33° 1/2	1/2°
6^{h} à 9^{h} matin (commencement d'une opération	31°	3°	31°	3°
9^{h} du matin à 10^{h}	31°	3°	31°	3°
De 10^{h} du matin à midi	32°	2°	32°	2°
Moyennes		2°		2°

On n'a plus ces variations que nous avons signalées dans les premières expériences; le four a fait trois charges en vingt-quatre heures : la première à 2 heures du soir, la deuxième à 10 heures, et la troisième à 6 heures du matin.

Le volume de la dissolution saline employée est de 1.080 litres; on a fait écouler dans le même temps 1.200 litres d'eau de chaux.

Le titre moyen de la dissolution après l'expérience est de 32°, soit 2° de différence; mais comme la liqueur alcalimétrique avait été affaiblie de moitié, cette différence n'est que 1°.

Elle accuse une perte en vingt-quatre heures de 972 grammes; j'ai évalué à 40 kilogrammes la perte primitive par four en vingt-quatre heures; en doublant 972 grammes pour avoir la perte du gaz de la calcine, on a un nombre qui n'est encore que le vingtième du précédent.

Ce qu'il importe d'observer, c'est qu'en aucun moment l'absorption ne correspond à une diminution de titre de 2° dans la dissolution saline; il n'y a donc pas eu d'émanations notables.

Malgré cela j'ai constaté que par les temps humides la cheminée tirait mal et que les émanations d'acide hydrochlorique étaient encore sensibles aux alentours de l'usine.

Pour rendre l'absorption aussi complète que possible, on doit placer deux nouvelles bonbonnes à cascade à la suite de chaque série; il y en aura six pour la série correspondante à la cuvette et quatre pour celle correspondant à la calcine. Le tirage de la grande cheminée eût été insuffisant et n'eût point permis cette addition; on a construit une nouvelle cheminée qui reçoit les fumées des fours à soude; la grande cheminée dont le diamètre en haut n'est que de $0^{m},50$ se trouve soulagée; le tirage est meilleur; elle ne reçoit que la quantité de fumée nécessaire pour opérer un tirage actif.

La chaux placée dans le conduit qui mène les gaz à

la cheminée enlève les dernières traces d'acide qui ont échappé à l'action des bonbonnes à cascade.

Je suis convaincu que l'application continue de ces procédés empêchera toute émanation sensible d'acide hydrochlorique; la cause principale d'insalubrité de l'usine se trouve ainsi presque entièrement supprimée.

Les gaz qui sortent des chambres de plomb traversent, avant de se rendre dans la cheminée, une série de bonbonnes remplies d'eau et un conduit en maçonnerie dans lequel il y a une couche de chaux qui absorbe les dernières traces d'acide. 2° Acide sulfurique.

Les bonbonnes sont en grès à deux tubulures, pour recevoir les raccords; entre ces tubulures est un orifice par lequel on introduit l'eau; on le tient bouché avec un bouchon en grès. L'eau des premières bouteilles absorbe l'acide, son volume augmente; quand le liquide arrive à un certain niveau dans la première bouteille, il se déverse dans la suivante placée en contre-bas, par un tuyau latéral qui les réunit vers le milieu. Si les vases portaient de simples tubulures et qu'on y adaptât un tuyau en grès, l'acide viendrait au contact du lut et le détruirait promptement. Pour éviter tout contact, on emploie une disposition fort ingénieuse : à chaque vase est soudé un tuyau recourbé qui descend jusqu'au fond et sort latéralement; il entre dans la tubulure latérale du vase suivant où le lut s'applique; mais comme le niveau du liquide est plus bas dans celui-ci, il ne vient pas toucher le lut. On remarque aussi que par cette disposition c'est le liquide le plus acide qui s'écoule, car étant plus dense que l'eau il occupe le fond; l'eau saturée d'acide vient donc s'écouler par la dernière bonbonne; il suffit d'ajouter de temps en temps de l'eau dans les premières.

Cet appareil fonctionne d'une manière continue; il

comprend deux séries de vingt bonbonnes pour les grandes chambres et une série de dix bonbonnes pour les petites.

L'acide qu'on recueille est porté dans les chambres de plomb et sert à la production de l'acide sulfurique.

En sortant des vases absorbants, les gaz des deux séries de chambres se réunissent dans une espèce de caisse en plomb; de celle-ci partent deux tuyaux en plomb qui les amènent dans le conduit en maçonnerie allant à la cheminée. J'ai fait diviser ce conduit en deux parties, correspondant chacune à un tuyau de plomb; l'entrée de ceux-ci se ferme avec un registre, et l'on peut faire passer tous les gaz dans une seule partie du conduit, ce qui permet de renouveler la chaux sans interrompre l'opération.

Enfin près de la cheminée se trouvent deux vases en grès, correspondant aux deux parties du conduit, dans lesquels passent tous les gaz; il suffit de lever le couvercle pour sentir si l'absorption se fait bien.

Le système que je viens de décrire réussit parfaitement; c'est à peine si l'on sent une légère odeur d'acide lorsqu'on lève le couvercle des vases servant de témoins.

Enfin comme la cheminée dans laquelle les gaz se rendront est en maçonnerie ordinaire, il est de l'intérêt du fabricant d'absorber toujours les vapeurs nitreuses; s'il y avait des moments où elles pussent s'échapper, la maçonnerie serait promptement détériorée.

3° Chlorure de calcium.

Près des chambres où se fabrique le chlorure de chaux, on a disposé un conduit aboutissant à une cheminée; il y a de la chaux; quand la chloruration est terminée, on met les chambres en communication avec le conduit par un tuyau en bois. Le chlore qui se trouve

dans les chambres est aspiré par la cheminée et absorbé par la chaux qui se trouve dans le conduit; lorsqu'on ouvre les portes pour décharger le chlorure de chaux, il n'y a presque plus d'émanations de chlore.

On établit également une communication avec l'appareil producteur de chlore; celui qui y était resté est aspiré. Il n'y a plus d'émanations sensibles lorsqu'on vide les appareils et qu'on renouvelle la charge d'acide et de manganèse.

La chaux des conduits est reportée dans les chambres où elle achève d'être chlorurée; la dépense qu'entraînent ces manœuvres est à peu près compensée par le chlore qu'on absorbe.

Enfin, pour la fabrication de l'acide nitrique, on a augmenté le nombre de bonbonnes de manière à ce qu'au commencement de l'opération il n'y ait même pas de dégagement sensible. 4° Acide nitrique.

En résumé les émanations de gaz acide hydrochlorique, qui sont les plus fortes dans les fabriques de produits chimiques, peuvent être absorbées presque entièrement par l'eau de chaux et la chaux; le coke en gros morceaux convient très-bien pour diviser les gaz et établir entre eux et l'eau qu'on fait arriver dessus un contact intime et continu; la chaux placée dans un conduit menant à la cheminée achève d'absorber l'acide. Résumé.

Les vapeurs nitreuses qui sortent des chambres de plomb et se répandaient autrefois dans l'atmosphère sont complétement absorbées aujourd'hui par l'eau; la chaux qui se trouve dans un conduit, entre les vases absorbants et la cheminée, enlève les dernières traces. On a un moyen simple de s'assurer si l'absorption est bien faite, dans les vases témoins placés près de la cheminée.

Enfin il a été porté remède aux plus faibles inconvénients, à ceux provenant des émanations de chlore et d'acide dans les fabrications de chlorure de chaux et d'acide nitrique; les émanations de chlore sont absorbées par la chaux, celles d'acide nitreux par l'eau.

L'exécution de ces divers travaux a placé l'usine de Saint Roch-les-Amiens dans des conditions de salubrité qu'on ne retrouve peut-être dans aucune usine du même genre, soit en France, soit en Angleterre.

NOTE

SUR LES PROCÉDÉS DE DOSAGE DU CUIVRE DANS LES MINERAIS ET LES PRODUITS D'ART.

Par M. L.-E. RIVOT,
ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

Le dosage du cuivre a été de tout temps un sujet d'études pour les chimistes, et bien des procédés différents ont été proposés. Aucun cependant n'est exempt d'inconvénients et ne réunit les trois qualités désirables; exactitude, rapidité et généralité d'application. Ainsi, le dosage à l'état d'oxyde noir, précipité par la potasse caustique, peut donner des résultats assez exacts; mais il exige des opérations longues et souvent difficiles pour la séparation du cuivre des autres corps et pour la précipitation elle-même. D'autres méthodes, plus rapides et suffisamment exactes, ne s'appliquent que dans des conditions spéciales, et ne conviennent qu'à des séries particulières de matières contenant du cuivre.

Dans les usines, la détermination du cuivre dans les minerais et dans les produits du traitement métallurgique, se fait encore par la voie sèche, qui donne des résultats peu exacts, et comparables seulement quand les essais sont faits dans les mêmes circonstances.

J'ai eu l'occasion d'essayer et d'analyser un très-grand nombre d'échantillons de minerais, mattes, scories, alliages divers, etc.; j'ai dû étudier et comparer les différents procédés d'essai et de dosage proposés jusqu'à présent. Cette étude de plusieurs années m'a conduit, d'abord à modifier quelques-uns de ces pro-

cédés, et enfin à leur substituer une méthode nouvelle fondée sur quelques réactions assez simples.

Le but de mes recherches a été le dosage exact et rapide du cuivre par une méthode applicable à toutes les substances qui peuvent se présenter. Dans la plupart des cas, l'analyse complète de la substance est inutile ; il suffit presque toujours de faire exactement la détermination du cuivre, à la suite d'une analyse qualitative, indiquant la nature et la proportion plus ou moins grande des corps qui accompagnent ce métal.

Dans ce qui va suivre, je considérerai seulement le dosage du cuivre, je montrerai ensuite, par un exemple, de quelle manière la méthode que je propose peut se lier à l'analyse complète.

Afin de justifier la convenance d'un procédé nouveau, je présenterai d'abord une discussion sommaire de ceux qui ont été employés jusqu'ici. J'examinerai successivement :

1° La précipitation du cuivre à l'état d'oxyde noir par la potasse caustique ;

2° La précipitation à l'état métallique par une lame de fer ou de zinc ;

4° L'évaluation de la quantité de cuivre contenue dans une liqueur ammoniacale par l'emploi d'une dissolution titrée de sulfure de sodium ;

5° Les procédés colorimétriques ;

6° Les essais par la voie sèche.

Premier procédé. — *Dosage du cuivre à l'état d'oxyde noir précipité par la potasse.*

Ce procédé de dosage ne peut être appliqué qu'à une dissolution contenant le cuivre de la substance proposée, et ne renfermant aucun oxyde précipitable

par la potasse. Il est également indispensable que la liqueur ne contienne pas d'acides arsénique, phosphorique, antimonique, etc., ni mêmes des oxydes solubles dans la potasse, parce que cet alcali ne peut les enlever que très-incomplétement à l'oxyde de cuivre.

Il faut donc commencer par effectuer les séparations du cuivre de presque tous les corps qui l'accompagnent ordinairement. On n'arrive à ce résultat, au moins dans la plupart des cas, que par des opérations longues et souvent peu exactes.

Ces premières difficultés étant surmontées, il reste à précipiter le cuivre. Dans un récent travail. que j'ai fait en collaboration avec MM. Beudant et Daguin (1), les circonstances de cette précipitation ont été exposées en détail. Nous avons démontré que l'affinité de la potasse pour l'oxyde de cuivre est très-grande ; que l'alcali, ajouté en excès dans la dissolution acide contenant le cuivre, peut donner une combinaison soluble des deux oxydes ; et que dans le cas où la précipitation a lieu, l'oxyde de cuivre retient une proportion très-notable d'alcali, même après des lavages à l'eau bouillante, continués pendant longtemps. De là résulte dans le dosage une erreur notable, provenant de ce que l'alcali, agit non-seulement par son poids, mais encore donne à l'oxyde de cuivre une propriété hygrométrique très-marquée.

En opérant la précipitation dans une liqueur ammoniacale, ou en employant le chlore pour saturer l'excès d'alcali, on obtient des résultats plus exacts.

Mais dans tous les cas il faut traiter par l'eau bouillante l'oxyde de cuivre calciné une première fois, afin

(1) De l'emploi du chlore dans les analyses, par MM. Rivot, Beudant et Daguin.

d'oxyde, quelquefois même du chlorure de cuivre insoluble, formés pendant le lavage et la dessiccation.

On peut supprimer cette dernière cause d'erreur en transformant le cuivre métallique en oxyde, par grillage sous la moufle d'un fourneau de coupelle.

Quant aux deux premières, on peut les rendre assez faibles en prenant quelques précautions indiquées bientôt par l'habitude du procédé. Mais on ne peut pas les faire disparaître complétement.

Il résulte de là que si l'on obtient un dosage exact du cuivre en le précipitant à l'état métallique, ce ne peut être que par suite de la compensation des causes d'erreur de signes contraires.

En appliquant cette méthode à une série de substances ayant à peu près la même composition, en opérant dans des conditions à peu près constantes, on peut arriver à des résultats fort rapprochés de la vérité. Au contraire, on peut commettre une erreur très-grande, s'élevant à 10 et même 12 p. 100, quand on opère sur des matières très-différentes, et sans une grande habitude.

Résumé.

La méthode que je viens d'examiner ne doit donc pas être considérée comme générale : elle ne peut donner des résultats convenables que si elle est appliquée dans des circonstances peu variables, et l'habitude de l'opérateur est le seul garant de l'exactitude du dosage. En outre, elle exige la séparation préalable du cuivre des autres corps.

Procédé de M. Fuchs.

Je placerai ici la méthode proposée par M. Fuchs, pour l'évaluation de la quantité de cuivre contenue dans une dissolution acide ou ammoniacale. Le procédé est fondé sur ce principe qu'un barreau de cuivre plongé dans une dissolution contenant l'oxyde CuO, le ramène à l'état Cu^2O, en fournissant le cuivre nécessaire à cette transformation. Il est évident que si la dissolution pro-

posée ne renferme aucune autre substance qui puisse agir sur le cuivre métallique ; si l'on évite tout contact avec l'air, le barreau perdra une portion de son poids précisément égale à la quantité de cuivre qu'il s'agit de doser. Les pesées du barreau, avant et après l'expérience, donneront dans ce cas le dosage très-exact du cuivre.

La décoloration complète de la dissolution étant le seul indice de la transformation totale de l'oxyde de cuivre, il est convenable d'employer une dissolution ammoniacale, pour laquelle la coloration est bien plus prononcée. L'action est alors très-lente et n'est terminée qu'au bout de plusieurs jours. Si, de plus, on tient compte de la nécessité de faire les séparations du cuivre de tous les corps qui pourraient agir comme oxydants, on voit que le procédé n'est ordinairement ni simple, ni rapide.

On doit lui reprocher encore de déterminer le cuivre par une différence de poids, sans mettre en évidence la matière dosée : on manque par là d'une vérification importante de l'exactitude du dosage. On ne doit considérer les résultats comme certains que si l'on a prévu d'avance et fait disparaître toutes les causes d'erreur.

Pour toutes ces raisons, la méthode de M. Fuchs ne peut être employée que dans un certain nombre de cas particuliers ; par exemple pour les substances de composition très-simple, donnant rapidement la dissolution ammoniacale propre à l'expérience. Alors la méthode de M. Fuchs a le grand avantage d'occuper très-peu l'opérateur, bien qu'elle donne les résultats seulement au bout d'un temps assez long.

TROISIÈME PROCÉDÉ. — *Emploi d'une dissolution titrée de sulfure de sodium.*

M. Pelouze a fait connaître, dans ces dernières années, un procédé très-ingénieux pour déterminer les quantités exactes de cuivre contenues dans des alliages peu différents les uns des autres. Il suffit d'évaluer le volume d'une dissolution titrée de sulfure de sodium nécessaire pour précipiter complétement le cuivre, contenu dans une liqueur ammoniacale; on obtient ainsi la détermination fort exacte du métal.

Ce procédé présente sur les précédents le grand avantage de ne pas exiger la séparation préalable des autres métaux, au moins pour les alliages auxquels M. Pelouze l'a appliqué.

Les conditions dans lesquelles cette méthode est applicable, les précautions nécessaires à la réussite ont été indiquées trop complétement pour que j'aie besoin d'insister sur ce sujet. Je me bornerai à rappeler la condition principale de son emploi : les opérations pour titrer la dissolution de sulfure de sodium et pour doser le cuivre dans la substance proposée doivent être faites dans des circonstances presque identiques : sans cela on s'expose à des erreurs très-notables.

Ce procédé est excellent pour certains cas spéciaux, pour les cuivres plus ou moins purs et pour les alliages simples; mais il ne peut convenir ni aux bronzes, ni en général aux minerais et aux produits d'usines.

QUATRIÈME PROCÉDÉ. — *Détermination du cuivre par la coloration donnée à une dissolution ammoniacale.*

Plusieurs chimistes et métallurgistes, français ou étrangers, ont proposé de déterminer le cuivre en comparant les colorations bleues présentées par les disso-

lutions ammoniacales. Je considérerai seulement les méthodes de M. Le Play et de M. Jacquelain.

On prépare dans une série de flacons, de même forme et de même capacité, des liqueurs ammoniacales contenant des poids de cuivre croissant suivant une certaine progression. On prend ensuite 1 gramme de la substance proposée : on obtient, par des opérations variables avec la nature de cette substance, une liqueur ammoniacale contenant tout le cuivre ; on la renferme dans un flacon identique aux premiers, on l'étend d'eau de manière à l'amener au même volume. On estime ensuite entre quels flacons de la série de comparaison vient se ranger cette dissolution pour l'intensité de la teinte. On obtient ainsi deux limites très-rapprochées, entre lesquelles est comprise la quantité de cuivre qu'il s'agit d'évaluer. Méthode de M. Le Play.

M. Le Play a déterminé avec beaucoup d'exactitude et de rapidité, par cette méthode de comparaison des teintes sous volume constant, les teneurs en cuivre d'un grand nombre de scories. Il est certain qu'aucun autre procédé n'aurait pu conduire au même résultat.

Pour les minerais très-pauvres, pour les scories, ou plus généralement pour toutes les substances contenant une très-faible quantité de cuivre, ce procédé colorimétrique me paraît le seul qui puisse être employé.

La méthode de M. Jacquelain diffère de la précédente par son principe et par son but. Méthode de M. Jacquelain.

Le principe est le suivant : mesurer le volume qu'il faut donner à la dissolution ammoniacale, préparée avec un poids déterminé de la substance proposée, pour la ramener à la coloration d'une liqueur ammoniacale type, dont on connaît le volume, ainsi que la teneur en cuivre. Les deux liqueurs sont contenues dans des tubes de même diamètre ; celui de la liqueur

type est fermé à la lampe, précaution qui rend sa coloration invariable.

Le but est la détermination du cuivre, non plus seulement dans les scories et les matières pauvres, mais bien dans les alliages, dans les minerais et les produits d'usines.

Dans ces circonstances les liqueurs sont assez fortement colorées, et il n'est pas toujours facile de rendre les deux teintes certainement égales. Les différences de coloration qui répondent à de petites quantités de cuivre (par exemple, à quelques milligrammes quand on opère sur 2 grammes d'une matière riche) sont tellement faibles, qu'il faut une longue habitude pour les apprécier.

Il est en outre bien certain que deux observateurs seront presque toujours sensibles à des degrés différents et ne seront pas affectés au même point pour de légères variations dans les couleurs.

Il faudrait peut-être aussi tenir compte de l'influence exercée sur la coloration des liqueurs ammoniacales par la nature et la proportion des sels en dissolution : ces deux circonstances sont nécessairemeut très-variables quand on applique la méthode de M. Jacquelain à des substances différentes. Du reste, je ne chercherai pas d'objections aux procédés colorimétriques; il me paraît évident que la détermination du cuivre par les pesées, toutes les fois qu'elle sera possible (et elle l'est toujours pour les matières tenant plus de 1 p. 100), donnera des résultats plus certains, sinon plus exacts, que la comparaison des couleurs.

Cinquième procédé. — *Essais par la voie sèche.*

Les essais par la voie sèche ne donnent pas, en général, le dosage exact du cuivre : il est même difficile

d'arriver à des résultats comparables, puisqu'il faut pour cela opérer sur des substances analogues et conduire les opérations de la même manière.

Il y a toujours une incertitude plus ou moins grande dans les nombres obtenus par voie sèche. Mais cet inconvénient grave est compensé en grande partie par les avantages suivants :

1° On peut faire dans un temps très-court un très-grand nombre d'essais en n'employant que des réactifs peu dispendieux ;

2° Les opérations exigeant plus d'habitude que de science peuvent être confiées à des ouvriers ou à des contre-maîtres intelligents.

Ces avantages sont considérables pour les usines qui achètent les minerais ; le dosage par voie humide, soit par les procédés indiqués précédemment, soit même par des méthodes plus perfectionnées, est et sera probablement longtemps encore impossible. Il exige en effet plus de temps, un personnel spécial, plus nombreux et plus habile, et une dépense plus grande en réactifs.

Pour faire connaître les causes d'incertitude de la voie sèche, je considérerai le cas le plus général, un minerai sulfuré ne renfermant qu'une faible proportion d'arsenic et d'antimoine.

L'essai comprend deux opérations : un grillage qui doit expulser tout le soufre ; une fusion du minerai grillé donnant le cuivre en culot.

Le grillage est assez difficile et ne réussit bien que sous une moufle, ou dans un four à réverbère ; on doit élever très-progressivement la température jusqu'au rouge vif, de manière à éviter l'agglomération dans le commencement et à décomposer les sulfates quand tous les sulfures sont oxydés.

La seconde opération demande aussi une grande ha-

bitude. Le minerai grillé est mélangé avec des fondants pour les matières terreuses et pour les oxydes métalliques, et un réductif capable de ramener tout le cuivre à l'état métallique.

Le mélange est fondu dans un creuset de terre, à une température élevée, vers la fin, au-dessus du point de fusion de cuivre.

On emploie comme réactifs, soit le flux noir, soit un mélange de carbonates alcalins ou d'alcalis caustiques impurs et de charbon. La partie difficile est d'éviter le boursouflement, en chauffant assez longtemps et assez fort pour que l'oxyde de cuivre soit complétement réduit, et pour que le métal et la scorie, tous deux en fusion parfaite, puissent se séparer nettement.

Si le grillage a été mal fait ou si les fondants employés contiennent une notable proportion de sulfates alcalins, on trouve, en cassant le creuset, un culot de cuivre noir, une matte et la scorie. L'essai est alors manqué. Pour ne considérer que le cas le plus favorable, je supposerai qu'en cassant le creuset on trouve seulement le culot de cuivre et la scorie; de plus, que l'aspect de cette dernière permette de considérer la réduction de l'oxyde de cuivre comme à peu près complète.

Le culot est quelquefois du cuivre très-pur, ce dont on s'assure par ses caractères physiques; dans ce cas, son poids indique la teneur assez approchée du minerai; l'erreur commise en moins résulte de la petite quantité de cuivre restée dans la scorie, et de celle perdue dans le grillage par suite de son adhérence aux parois du têt ou du fourneau.

Le plus souvent le cuivre obtenu n'est pas pur, il renferme du soufre provenant de l'imperfection du grillage ou des sulfates contenus dans les fondants, de

l'arsenic et de l'antimoine, du fer, quelquefois même d'autres métaux dont les oxydes sont partiellement réduits dans la fusion. Dans ce cas, la teneur en cuivre indiquée par le poids du culot est assez incertaine, puisqu'on est en présence de deux causes d'erreur de signes contraires : 1° perte de cuivre dans le grillage par adhérence aux parois, et dans la fusion par le métal que retient toujours la scorie ; 2° impureté du culot, dans lequel se trouvent des corps différents du cuivre et en proportion variable suivant la nature du minerai, et la manière dont les opérations ont été conduites.

On ne peut donc espérer, comme je l'ai dit précédemment, des résultats comparables que si les minerais diffèrent peu les uns des autres, et surtout si les opérations sont faites dans des conditions bien uniformes.

J'ai obtenu des résultats assez satisfaisants en me servant de barreaux de fer comme agent de réduction et en employant les alcalis caustiques comme fondants. Le culot de cuivre est ordinairement très-pur, mais les résultats ne peuvent pas encore être exacts, parce qu'il reste toujours une pellicule de cuivre adhérente au fer. L'erreur est d'autant plus forte qu'on opère sur des minerais moins riches.

Avec des minerais contenant beaucoup d'arsenic et d'antimoine, par exemple les cuivres gris, on obtient des culots toujours très-impurs et dont le poids ne peut servir au dosage approché du cuivre. Dans les usines d'Allemagne on les passe à la coupelle, avec addition de plomb, et on arrête l'affinage lorsque l'éclair du cuivre indique que le métal est assez bien purifié. Mais les culots affinés ne peuvent donner la teneur des minerais qu'à l'aide d'une formule de correction, dans laquelle on cherche à tenir compte du cuivre oxydé en

même temps que les métaux étrangers. Les résultats ainsi corrigés sont encore assez incertains ; on ne peut baser leur comparabilité que sur l'habitude de l'opérateur.

Il est du reste très-facile de faire rentrer les minerais contenant arsenic et antimoine dans le cas général des minerais simplement sulfurés, en opérant leur grillage par la vapeur d'eau, après mélange d'une certaine proportion de pyrite de fer. Ce procédé, proposé par M. Cumenge, est employé avec succès à l'École des mines.

Enfin je dois ajouter que la voie sèche n'est pas applicable aux matières très-pauvres.

On voit d'après la discussion précédente que le cuivre peut être dosé rapidement, avec une exactitude bien suffisante, dans quelques cas spéciaux.

Pour les cuivres du commerce, pour les alliages simples, on doit préférer la méthode de M. Pelouze.

Pour les scories et les matières pauvres, on ne peut se servir que des procédés colorimétriques.

Mais pour le cas général d'un minerai, d'un produit d'usines ou d'un alliage un peu complexe, il faut employer le dosage à l'état d'oxyde noir, la précipitation par une lame de fer ou de zinc, ou bien évaluer le cuivre par la méthode de M. Fuchs ou par celle de M. Jacquelain ; tous ces procédés laissent à désirer, sinon pour l'exactitude, au moins pour la rapidité. Dans les analyses complètes on dose toujours le cuivre à l'état d'oxyde noir, malgré la longueur des opérations qu'il faut faire pour arriver à un résultat un peu exact.

Les derniers procédés applicables au cas général peuvent être remplacés très-avantageusement sous tous les rapports par une méthode dans laquelle on emploie

le sulfocyanure de potassium pour la précipitation du cuivre.

Jusqu'ici les sulfocyanures ou rhodanures alcalins ont été très-peu employés dans les analyses; ils peuvent cependant rendre quelquefois de très-grands services, comme le démontre l'application que j'en ai faite au dosage du cuivre. Ils diffèrent beaucoup des cyanures pour toutes leurs réactions principales et en général ils ne s'opposent pas aux précipitations ordinaires de la chimie minérale. Précipitation du cuivre à l'état de sulfocyanure.

Le sulfocyanogène forme avec tous les métaux des composés plus ou moins stables dont la composition répond à celle des chlorures : ils sont presque tous très-solubles dans l'eau, dans les liqueurs acides ou dans les sulfocyanures alcalins. Plusieurs d'entre eux sont fortement colorés; le plus remarquable sous ce rapport est le sulfocyanure de fer correspondant au perchlorure, qui est d'un rouge très-foncé (1). On utilise cette propriété pour reconnaître des traces de fer ou de sulfocyanure.

Si l'on considère seulement les dissolutions chlorhydriques, le seul sulfocyanure insoluble est celui de cuivre, dont la formule est CyS^2Cu^2; le second sulfocyanure de cuivre, CyS^2Cu est très-soluble et colore les dissolutions en brun très-foncé. Les composés du sulfocyanogène avec les métaux qui peuvent se rencontrer avec le cuivre dans les minerais et produits d'art, étain, antimoine, arsenic, plomb, zinc, nickel, cobalt, fer aluminium, calcium, etc., sont tous solubles.

L'insolubilité de la combinaison CyS^2Cu^2 est com-

(1) Le fer forme un second sulfocyanure, répondant au protochlorure. Il est très-soluble dans l'eau et la dissolution est verte. Au contact de l'air et par les agents oxydants, elle devient très-vite rouge.

plète, et de plus quand on l'obtient par double décomposition, la précipitation est très-nette. Ainsi, quand dans une dissolution chlorhydrique contenant le cuivre au minimum, on verse du sulfocyanure de potassium, on obtient de suite un précipité blanc, grenu, se rassemblant très-bien, se lavant assez facilement, et la liqueur ne renferme plus trace de cuivre. Je me suis assuré par plusieurs analyses que ce précipité a bien rigoureusement la composition CyS^2Cu^2.

Ces propriétés fournissent un moyen précieux de séparer complétement et rapidement le cuivre de tous les corps qui peuvent l'accompagner dans les minerais, alliages, etc., en donnant le métal dans un état de combinaison qui se prête au dosage immédiat.

L'application de cette méthode exige un petit nombre de précautions assez simples.

Il faut d'abord dissoudre les métaux de la substance proposée dans l'acide chlorhydrique, en opérant de manière à ce que la dissolution acide ne renferme pas d'agents oxydants qui puissent s'opposer à la facile réduction au minimum des sels de cuivre. Les alliages, la plupart des minerais, ne sont pas complétement attaqués par l'acide hydrochlorique seul; on obtient cependant la dissolution complète dans cet acide de toute la partie métallique, en faisant arriver dans la liqueur du chlore gazeux, ou bien en ajoutant progressivement une petite quantité d'acide azotique. En chauffant ensuite pendant quelques heures, on arrive à l'expulsion complète du chlore en excès ou à la décomposition de l'acide azotique.

Dans la dissolution chlorhydrique ainsi obtenue, on doit ramener le sel de cuivre au minimum par un réductif. On peut employer dans ce but l'acide hypophosphoreux ou l'acide sulfureux.

Le premier de ces réductifs, l'acide hypophosphoreux, est dans certains cas trop énergique. Pour éviter une action sur les sels des autres métaux, il importe d'opérer dans des liqueurs étendues, à une température très-modérée, et en employant une très-faible proportion de cet agent. On laisse digérer deux heures dans un flacon fermé, ensuite on ajoute du sulfocyanure de potassium en dissolution étendue. On ne doit pas verser de suite toute la quantité de ce réactif présumée nécessaire; mais au contraire procéder par petites quantités en agitant chaque fois et attendant que la liqueur s'éclaircisse un peu. En opérant de cette manière, on est facilement averti de la fin de la précipitation. On ne doit employer un excès de réactif que dans le cas où la substance proposée contient du plomb, métal dont les sels sont bien plus solubles en présence des sels alcalins. Emploi de l'acide hypophosphoreux.

Le précipité est parfaitement blanc, grenu, assez lourd, mais très-fin et comparable au sulfate de baryte pour la manière dont il se rassemble. On attend que le précipité soit déposé, on décante la liqueur claire, on la remplace par de l'eau. Après une nouvelle décantation, on jette sur un filtre pesé et on achève le lavage (1). On sèche à très-douce chaleur, en ayant soin de ne pas dépasser 75°, parce qu'à une température plus rap-

(1) La fin du lavage est indiquée très-nettement par une dissolution étendue de sel de peroxyde de fer. Elle se colore en rouge pour peu que l'eau, sortant du filtre, contienne des traces de sulfocyanure de potassium. Il faut avoir soin d'employer un filtre assez grand pour que le précipité ne le remplisse qu'à moitié, parce que le sulfocyanure de cuivre passe facilement par-dessus les bords du filtre. Cette propriété est moins marquée quand on lave avec de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique.

prochée du point d'ébullition de l'eau le sulfocyanure de cuivre commence à se décomposer.

L'augmentation de poids du filtre donne le poids du sulfocyanure CyS^2Cu^2, lequel contient 0,523 de métal.

Emploi de l'acide sulfureux.

L'acide sulfureux me paraît préférable à l'acide hypophosphoreux. Il n'est pas aussi cher et on peut modérer facilement son action réductive.

Voici de quelle manière il doit être employé : Dans la dissolution chlorhydrique de tous les métaux, chauffée à 70° au plus, on fait arriver un courant d'acide sulfureux, pendant une demi-heure environ (1) ; on verse ensuite progressivement une dissolution très-étendue de sulfocyanure de potassium, en continuant l'arrivée du gaz.

L'acide sulfureux tout seul ne ramène que très-lentement les sels de cuivre au minimum ; l'action ne serait pas terminée au bout de plusieurs jours ; mais en présence du sulfocyanure de potassium, le composé insoluble du cuivre, CyS^2Cu^2, se forme immédiatement, et on peut obtenir en moins d'une heure la précipitation complète de plusieurs grammes de cuivre.

On observe bien nettement la réaction quand la liqueur ne contient pas de fer ou d'autres métaux dont les sulfocyanures sont fortement colorés ; on voit alors la dissolution verte devenir brune à chaque addition de sulfocyanure, et presque de suite se former le précipité blanc, qui augmente à mesure que la coloration brune diminue. Dans le cas où la substance proposée contient des métaux dont les sulfocyanures sont très-colorés, on

(1) Si la substance proposée a été dissoute dans l'eau régale, et si l'on a pas décomposé préalablement tout l'acide azotique, il faut laisser l'acide sulfureux décomposer d'abord l'acide azotique et faire passer le gaz réducteur pendant une demi-heure après la cessation des vapeurs rutilantes.

ne peut plus distinguer avec la même netteté le changement de couleur; mais on peut toujours suivre la production du précipité (1). La fin de l'opération est encore indiquée par l'absence de précipité quand on verse une nouvelle quantité de sulfocyanure. Il faut ensuite, pour le lavage et la dissolution, opérer comme je l'ai indiqué précédemment.

Vérification.

J'ai annoncé plus haut que le sulfocyanure de cuivre est décomposé facilement par la chaleur; cette propriété peut faire craindre une incertitude dans le dosage, au moins dans les laboratoires qui ne sont pas pourvus d'appareils spéciaux pour la dessiccation. Pour lever cette difficulté, j'ai cherché un moyen rapide de vérification ou de dosage du cuivre dans le sulfocyanure.

J'ai cherché en premier lieu à réduire le composé par l'hydrogène, de manière à pouvoir doser le cuivre à l'état métallique. La réduction commence à une température très-basse, avec dégagement rapide d'acide sulfocyanhydrique; mais la production de ce gaz cesse sitôt que la chaleur augmente; la décomposition continue, mais elle est due principalement à l'action de la chaleur seule sur le sulfocyanure; en sorte qu'on obtient un mélange de cuivre métallique et de sulfure de cuivre tout à fait impropre au dosage.

Il serait très-facile de transformer le sulfocyanure en oxyde noir, en le mettant en suspension dans une dissolution de potasse et faisant arriver un courant de chlore, mais ce moyen de vérification manque de rapi-

(1) Quand on a fait la précipitation du cuivre en présence du fer, on observe que la liqueur reste colorée en rouge presque jusqu'à la fin de l'opération, ensuite elle devient verte. Ces couleurs résultent de ce que l'action de l'acide sulfureux sur le sel de peroxyde de fer n'est pas extrêmement rapide.

dité et présente plusieurs des inconvénients que j'ai signalés précédemment.

Le procédé le plus simple de vérification est la transformation du sulfocyanure en sulfure Cu^2S, par fusion dans un creuset de porcelaine taré avec une petite quantité de soufre.

On détache le précipité du filtre, on brûle le papier et on réunit les cendres au sulfocyanure; on mélange ensuite avec un volume égal de soufre et on place dans un creuset de porcelaine taré avec soin. On chauffe progressivement jusqu'au rouge un peu plus que sombre et on maintient cette température pendant huit à dix minutes. On laisse refroidir à l'abri du contact de l'air et on pèse; l'augmentation de poids donne le dosage du cuivre à l'état de Cu^2S; je me suis assuré par plusieurs essais sur quantités pesées que le sulfure obtenu de cette manière a rigoureusement pour formule Cu^2S. Examiné au microscope, il a la texture nettement cristalline, surtout quand on a opéré sur une quantité un peu forte de cuivre et laissé refroidir lentement. Le même creuset peut servir à un grand nombre d'opérations.

La méthode que je viens d'exposer a l'avantage d'être très-rapide et en même temps très-exacte. En précipitant le cuivre à l'état de sulfocyanure et en le dosant à l'état de sulfure Cu^2S, on obtient une approximation de 1/4 à 1/2 p. 100 du cuivre contenu dans la substance proposée.

Simplification. En partant de la stabilité du sulfure de cuivre Cu^2S à la température du rouge sombre, on peut simplifier encore le procédé précédent pour les substances qui ne contiennent aucun métal précipitable par l'hydrogène sulfuré.

Pour ces substances on dissout dans l'acide hydro-

chlorique, auquel on peut ajouter sans inconvénient une petite proportion d'acide azotique; on filtre pour séparer les parties indissoutes, et on précipite le cuivre par l'hydrogène sulfuré : le précipité est versé sur un filtre, bien lavé, détaché du filtre. Le papier est brûlé séparément. Ensuite, le sulfure et les cendres mélangés avec une petite quantité de soufre, sont chauffés jusqu'au rouge sombre, à l'abri du contact de l'air, dans un creuset de porcelaine taré. L'augmentation de poids du creuset donne exactement le cuivre à l'état de sulfure Cu^2S.

On obtient en opérant ainsi, le dosage très-rapide du cuivre avec une exactitude très-grande.

Dans tout ce qui précède, j'ai considéré seulement le dosage du cuivre, dans la discussion des procédés suivis jusqu'à présent, aussi bien que dans la méthode nouvelle que j'ai adoptée à l'École des mines : il me reste maintenant à montrer que la réaction du sulfocyanure de potassium, pour séparer le cuivre, peut être employée dans les analyses complètes.

Je ne pense pas avoir besoin de considérer successivement tous les cas qui peuvent se présenter ; un seul exemple d'une analyse difficile et la remarque générale que la présence du sulfocyanure alcalin est sans influence sur les précipitations de la plupart des métaux, suffiront parfaitement.

Analyse d'un bronze.

Je donnerai comme exemple l'analyse d'un bronze, alliage employé maintenant pour un assez grand nombre d'usages; pour les monnaies, les doublages de navires, les coussinets d'arbres tournants, etc.

Les bronzes contiennent presque toujours quatre métaux, cuivre, étain, plomb, zinc; plus rarement ils renferment des quantités très-faibles ou même indo-

sables de fer, de nickel, d'arsenic, d'antimoine et de soufre.

Il faut toujours commencer par des essais qualitatifs pour constater la présence ou l'absence du soufre, de l'arsenic et de l'antimoine; il est bon de les faire sur des quantités pesées, afin de pouvoir apprécier la proportion de ces corps, dans le cas où l'alliage en contient notablement.

Ordinairement leur proportion s'élève au plus à 3 millièmes, et leur présence n'influe pas d'une manière sensible sur le dosage des métaux. Je supposerai donc que le bronze ne contienne que cuivre, étain, zinc, plomb, avec des traces de fer et de nickel.

Il est nécessaire d'opérer sur 4 et même 5 grammes d'alliage, parce que le plomb et le zinc sont l'un ou l'autre, souvent tous les deux, en proportion très-faible.

Après avoir réduit en limaille, on attaque par l'acide hydrochlorique et le chlore gazeux. Tout se dissout en quelques heures; on chasse l'excès de chlore par une douce chaleur; on fait arriver de l'acide sulfureux, et on précipite le cuivre par le sulfocyanure de potassium, avec les précautions indiquées précédemment. Le cuivre est dosé à l'état de sulfocyanure desséché, ou à l'état de sulfure, calciné à l'abri de l'air.

Dans cette opération, la présence du fer en notable proportion est indiquée par la coloration rouge que prend la liqueur à l'air après la précipitation du cuivre, et l'expulsion de l'acide sulfureux. Une simple teinte rosée indique une proportion de fer tout à fait négligeable, et qui peut même provenir des réactifs. C'est le cas le plus ordinaire, et celui que j'admettrai.

La liqueur acide renferme le zinc, l'étain, le plomb et le nickel. On chasse l'acide sulfureux par la chaleur, on sature par l'ammoniaque et on ajoute immédiatement

une quantité d'acide acétique assez grande pour que la réaction acide soit évidente.

Dans cette liqueur acétique très-étendue, on précipite tous les métaux par l'hydrogène sulfuré. Les sulfures sont lavés d'abord par décantation, et reçus ensuite sur un filtre; on les sépare autant que possible du filtre; on brûle le papier.

Les cendres et les sulfures sont mis dans une petite capsule de porcelaine; on ajoute de l'acide azotique et de l'acide sulfurique : on évapore lentement à sec et on chauffe jusqu'au rouge sombre pour chasser complétement l'excès d'acide sulfurique. On laisse refroidir et on traite par l'eau qui dissout les sulfates de zinc et de nickel, en laissant insolubles l'oxyde d'étain et le sulfate de plomb.

Je n'ai pas besoin d'insister sur les séparations du zinc et du nickel d'un côté, du plomb et de l'étain de l'autre.

La série des opérations est bien plus simple quand l'analyse qualitative a indiqué l'absence du nickel.

Les sulfures précipités par l'hydrogène sulfuré dans la liqueur acétique, et lavés seulement par décantation, sont traités immédiatement par l'hydrosulfate d'ammoniaque, qui dissout l'étain, en laissant insolubles les sulfures de plomb et de zinc.

Le sulfure d'étain est précipité par l'acide acétique, bien lavé, et transformé en oxyde par grillage sous la moufle d'un fourneau de coupelle. Les sulfures de plomb et de zinc reçus sur un filtre sont traités par la méthode du chlore et de la potasse (1).

---

(1) Mémoire sur l'emploi du chlore dans les analyses, par MM. Rivot, Beudant et Daguin.

NOTE

SUR LA CRISTALLISATION DE LA BRONGNIARDITE, ESPÈCE MINÉRALE.

Par M. DAMOUR.

Le minéral qui fait l'objet de cette note, et dont j'ai déjà donné la description (*Annales des mines*, tome XVI, page 227) n'était connu jusqu'à ce jour, à Paris, que par l'échantillon en masse compacte, complétement amorphe, rapporté de la Bolivie par M. le comte de Castelnau. Les caractères physiques et la composition de cette matière m'avaient amené à la considérer comme constituant une espèce distincte, malgré l'absence de cristallisation; et je crus pouvoir la désigner alors sous le nom de Brongniardite, comme hommage à la mémoire de M. Alexandre Brongniart. Je viens de retrouver, parmi divers minéraux venus de la Bolivie et appartenant à M. Saemann, un nouvel échantillon de cette même substance qui laisse apparaître dans les cavités et les fissures dont il est traversé, des cristaux octaèdres, modifiés symétriquement sur chacune de leurs arêtes et qui dérivent ainsi de l'octaèdre régulier. Ces cristaux atteignent, au plus, un ou deux millimètres de diamètre. Malgré leur petitesse, j'ai pu reconnaître, après en avoir détaché quelques-uns, qu'ils présentaient des caractères identiques à ceux de la masse compacte de brongniardite à laquelle ils sont adhérents. En effet, ils se laissent aisément réduire en poudre par la trituration : leur poussière est gris noirâtre. Ils fondent aisément dans le tube ouvert en dégageant une

odeur sulfureuse et des vapeurs blanches d'oxyde d'antimoine. Dans le tube fermé, ils donnent un faible sublimé blanc, puis un sublimé rouge orangé peu volatil. Ils fondent sur la coupelle et se réduisent, par le grillage, en un globule d'argent métallique. Sur le charbon, ils se réduisent de même et le globule d'argent reste entouré d'une auréole jaune (oxyde de plomb) et d'une auréole blanche (oxyde d'antimoine), après son refroidissement. J'ai cru remarquer, toutefois, que l'auréole jaune fournie par les cristaux était un peu moins foncée que celle qui est produite par la fusion de la masse amorphe dans laquelle ils sont engagés. Ces cristaux sont associés à de la blende de couleur brune qui les recouvre, par places, d'un enduit cristallin. On observe sur les mêmes échantillons quelques cristaux d'Argyrythrose.

Le caractère cristallographique vient s'ajouter ainsi à celui que l'analyse avait déjà fourni pour distinguer la brongniardite des autres sulfures connus. Nous avons montré dans la notice mentionnée ci-dessus que la composition de cette substance est représentée par la formule $PbSu + AgSu + Sb^2Su^3$.

Je signalerai aujourd'hui un rapprochement assez remarquable entre cette nouvelle espèce et la Dufrénoysite qui a pour formule : $2PbSu + As^2Su^3$ et qui cristallise aussi dans le système de l'octaèdre régulier. Le sulfure de plomb, $PbSu$ étant isomorphe avec le sulfure d'argent, $AgSu$; le sulfure d'antimoine Sb^2Su^3 étant également isomorphe avec le sulfure d'arsenic As^2Su^3, la Brongniardite et la Dufrénoysite, tout en constituant chacune une espèce distincte, se confondent dans une même forme cristalline et dans une même formule chimique générale :

$$2rSu + R^2Su^3.$$

Je profite de cette occasion pour rectifier une erreur que j'avais commise dans l'indication du gisement de la Dufrénoysite ; cette espèce se trouve associée au réalgar, à l'orpiment, à la blende, à la pyrite dans la dolomie de la vallée de Binnen en Valais, et non dans la dolomie du mont Saint-Gothard comme je l'avais annoncé.

RECHERCHES

SUR L'INFLUENCE DU SOUFRE SUR LE FER ET SUR L'INFLUENCE DU PHOSPHORE NEUTRALISANT EN PARTIE CETTE ACTION DU SOUFRE.

Par M. JANOYER,
directeur des hauts-fourneaux de l'Orme (Loire).

L'influence nuisible du soufre sur la qualité des fers en général est un fait reconnu de toutes les personnes qui s'occupent de métallurgie. Tout le monde sait, en effet, qu'il existe une énorme différence entre les fers fabriqués au charbon de bois et les fers fabriqués au charbon minéral. Ces derniers sont presque tous plus ou moins rouverins (cassants à chaud), bien qu'on ait à traiter des minerais très-purs. C'est en général à la présence de ce métalloïde dans le combustible minéral qu'il faut attribuer ce défaut de qualité. Des traces de soufre à peine sensibles à l'analyse suffisent pour rendre le fer très-rouverin.

Caractères des fers rouverins.

Les fers sulfureux se traitent très-bien à froid, sont mous et tenaces; ils manquent généralement d'éclat sur la cassure et se soudent très-difficilement. Ils sont, au contraire, très-cassants à chaud, surtout à la couleur rouge cerise (ce qui leur a fait donner le nom de fers de couleur). D'après Karsten (*Manuel de métallurgie*), il suffit de 0,03375 p. 100 de soufre pour faire perdre au fer la faculté de se souder et le rendre tout à fait rouverin. Ce dernier a même analysé des fers rouverins qui ne contenaient qu'une partie de soufre sur 10.000 parties de fer.

Toutes les expériences entreprises à ce sujet par cet habile métallurgiste ont été faites avec trop de soin pour les reprendre; je ne ferai que rapporter ici une opération faite en grand avec beaucoup de précaution qui concorde parfaitement avec les assertions de ce savant et qui, de plus, fait voir d'une manière évidente que l'opération métallurgique du traitement du fer, dans laquelle le passage du soufre dans le fer se fait le plus fortement sentir et dans laquelle il faut surtout par suite tâcher de s'en préserver, est la fusion du minerai en contact du combustible minéral dans le haut-fourneau.

Expérience déterminant l'influence du soufre.

Dans le courant de l'année 1850, je traitai aux hauts-fourneaux de l'Orme (Loire), exclusivement à tout autre minerai, celui de Privas (Ardèche), dont j'ai donné l'analyse (*Annales des mines*, t. XX, 1851). Ce minerai est un peroxyde de fer anhydre a aspect luisant onctueux au toucher, laissant sur les doigts un enduit gras de couleur rouge. Il est très-pur et par suite très-propre au fer d'excellente qualité. Pour s'en convaincre, il suffit de consulter l'excellent mémoire de M. Gruner, ingénieur en chef des mines, *Sur le gisement et la nature de quelques minerais des environs de Privas et de Lavoutte* (*Annales des mines*, 3e série).

J'ai pris dans ce mémoire, pages 374 et 375, les analyses que je donne ci-dessous, qui font bien voir la grande pureté des minerais de Privas.

	Minerais riches.
Peroxyde de fer	0,839
Alumine	0,008
Carbonate de chaux	0,074
Silice et argile	0,065
Eau	0,012
Oxyde de manganèse	traces.
	0,998

D'après l'auteur, ce minerai renferme des traces à peine sensibles de soufre et de phosphore.

	Minerais moyens.
Peroxyde de fer.	0,602
Argile.	0,070
Cabonate de chaux, magnésie, etc.	0,296
Eau, matière bitumineuse.	0,032
	1,000

Nous trouvons encore à la suite de cette analyse, page 376 : « On a vainement recherché le soufre, et je n'ai pu découvrir que de bien faibles traces de phosphore. »

Je devais donc, vu la pureté exceptionnelle des minerais, m'attendre à obtenir des fers de qualité bien supérieure à tous ceux fabriqués dans les environs. Malgré cela, le fer obtenu fut moyennement rouverin. Il présentait à froid toutes les qualités du meilleur fer; mou, à fibres noires et sans grains, il pouvait se plier et se replier dans tous les sens sans éprouver la moindre gerçure. A la couleur rouge cerise, au contraire, il était très-cassant et perdait toute espèce de ténacité.

J'essayai alors si la gangue du minerai ne contenait pas de sulfate de baryte; car on sait, comme le dit Haüy (*Traité de minéralogie*, t. IV), que ce sel accompagne souvent les matières terreuses de cette espèce de minerai.

Pour reconnaître la présence du sulfate de baryte, je fis plusieurs attaques de minerai par l'acide chlorhydrique et fis bouillir longtemps les résidus dans une dissolution de carbonate de potasse. Au bout de deux heures d'ébullition, je filtrai et acidifiai la liqueur par l'acide chlorhydrique pour chasser l'acide carbonique du carbonate de potasse en excès. Je traitai ensuite

Recherche du sulfate de baryte.

cette même dissolution par le chlorure de baryum. Mais je n'obtins aucun précipité, d'où je puis conclure que la gangue du minerai ne contient point de sulfate de baryte.

Voici les résultats de deux analyses complètes de ce minerai dans lesquelles toutes ces recherches de soufre ont été faites :

	Minerai agatisé.	Minerai riche feuilleté.
Matières volatiles.	0,014	0,064
Silice.	0,110	0,124
Peroxyde de fer.	0,820	0,740
Alumine.	0,016	0,010
Chaux.	0,036	0,060
Manganèse.	point.	point.
Soufre.	point.	point.
	0,996	0,998

On voit donc par ces résultats d'analyse que cette propriété de fer rouverin ne provenait pas du soufre contenu dans le minerai, puisque l'analyse n'en donne pas trace.

Elle ne pouvait donc alors venir que des sulfures contenus dans le coke qui avait servi à sa fusion.

Le coke uniquement employé dans cet essai fut constamment celui de la Péronnière, près Rive-de-Gier (Loire), dont on trouvera l'analyse (*Annales des mines*, 1851, t. XX). Il m'a donné 0.28 p. 100 de soufre (1). La consommation en combustible étant à cette époque de 22.000 kilogrammes par vingt-quatre heures, on introduisait dans ce laps de temps 61^{k},600 de soufre dans le haut-fourneau, soufre qui, d'après un précé-

(1) Ce coke est d'ailleurs, comme l'indique M. Gruner dans son mémoire (*Annales des mines*, 5e série, tome II, page 158, n° 14), très-bon pour les hauts-fourneaux et l'un des moins sulfureux du bassin de la Loire.

dent mémoire, ne peut sortir du haut-fourneau qu'à l'état de protosulfure dans la fonte où à l'état de sulfure de calcium dans les laitiers.

Ces derniers étant légèrement siliceux, la fonte se trouvait contenir une grande partie du soufre.

Il était impossible alors qu'une telle quantité ne jouât pas un rôle important dans le haut-fourneau et n'exerçât pas une fâcheuse influence sur le produit, puisqu'on obtenait ainsi (la production étant de 20.000 kilogrammes par vingt-quatre heures et en supposant, ce qui n'est pas, que tout le soufre passât dans la fonte) une fonte contenant 0,003 de soufre. Ce protosulfure de fer formé dans la fonte, vu sa fixité, devait se retrouver dans les fers produits, et l'on avait alors une quantité de soufre bien plus que suffisante pour rendre le fer très-rouverin.

A ce que je viens de dire, on pourrait objecter que le passage du soufre dans le fer se fait dans la transformation de la fonte en fer (puddlage, réchauffage) en présence de la houille qui contient beaucoup de pyrites laissant dégager la moitié de leur soufre à la chaleur rouge.

Traitement du minerai de Privas au charbon de bois.

Je réponds négativement à l'objection, et dis encore que le passage du soufre dans le fer se fait *surtout* dans la fusion du minerai au contact du coke dans le haut-fourneau ; car à la même époque le même minerai de Privas fut traité dans le même haut-fourneau au charbon de bois et dans des conditions tout aussi fâcheuses que celles dans lesquelles je m'étais trouvé dans la fusion du minerai en présence du coke. Les laitiers de composition tout à fait siliceuse, comme ceux obtenus dans le roulement en combustible minéral, devaient favoriser aussi le passage complet du soufre dans la fonte, puis-

qu'il ne pouvait sortir à l'état de sulfure de calcium dans les laitiers.

Voici la composition de ces laitiers (1) :

Silice.	53,77
Alumine.	17,93
Chaux.	28,30
	100,00

On voit qu'ils se rapprochent des bisilicates et qu'ils peuvent être représentés par la formule B^4S^4.

			Oxygène.		
Silice. . . .	53.77	donnent	27,94	27,94	B^4S^4
Alumine . .	17,93	donnent	8,37	16.28	
Chaux. . . .	28,30	donnent	7,91		

La chaux se trouvant entièrement saturée par la silice ne pouvait présenter aucune affinité pour le soufre. Malgré ces conditions, la fonte obtenue, puddlée dans les mêmes fours, avec de la houille de même provenance (2), par les mêmes ouvriers, dans les mêmes circonstances en un mot, a donné du fer qui a présenté en tous points les caractères du meilleur fer fin. Sa ténacité a été parfaite à toutes les températures, et il n'a pas le moins du monde présenté les caractères du fer de couleur (cassant à chaud rouge cerise).

Indépendamment de l'influence du soufre du coke que cette expérience en grand montre d'une manière évidente, il faut y voir un fait utile acquis pour la

(1) J'ai négligé le protoxyde de fer obtenu avec l'alumine, vu la faible quantité trouvée.

(2) La houille employée provenait de la mine du bois d'Aveize, concession de Terre-Noire. Elle est décrite et classée par M. Gruner dans son mémoire sur la Description et classification des mines de la Loire (*Annales des mines*, t. II, 5e série, page 166).

pratique : l'action du soufre sur le fer se fait *surtout* sentir dans la fusion du minerai au contact du combustible minéral et non dans la transformation de la fonte en fer, puisque le puddlage, dans les deux cas ci-dessus développés, a été fait dans les mêmes circonstances.

De ce dernier résultat, on doit déduire que l'acide sulfureux, se dégageant de la houille sur les grilles des fours à puddler et à réchauffer, n'a pas d'influence sensible sur le fer.

Le sulfure, qui peut se former dans la transformation de la fonte en fer à la surface du bain métallique, se trouvant constamment dans une région oxydante, se combine sans doute, comme le dit M. Berthier, avec le fer oxydé pour donner lieu à des oxysulfures qui se séparent du fer à l'état de scories et de battitures.

Je n'ai jamais essayé de scories d'affinage sans obtenir des quantités de soufre assez considérables. L'analyse entre autres d'une scorie d'affinage très-compacte ne contenant pas de fer libre, faite avec beaucoup de soin, m'a donné 0.152 p. 100 de soufre.

Essais pour détruire en partie l'action nuisible du soufre sur le fer.

Ces faits établis, je cherchai à annihiler cette action du soufre sur la fonte dans le haut-fourneau, du moins en partie, en combinant les observations du savant sidérurgiste Karsten, d'après lequel *les meilleurs fers paraissent contenir au moins* 0,002 *à* 0,003 *de phosphore*, avec des observations que j'avais faites moi-même sur des fers forts, durs, produits au coke avec mélange de minerais argileux très-purs et de minerais phosphoreux.

Ces derniers fers, qui n'avaient aucune des propriétés des fers de couleur, se trouvaient produits dans les mêmes circonstances que les fers rouverins que j'avais

obtenus, puisque les minerais ne donnaient pas de soufre et que le coke employé à leur fusion était également sulfureux.

Les essais faits comparativement sur un grand nombre de barres ont constamment donné des résultats qui peuvent être représentés par les *fig.* 1 et 2, Pl. II.

Le fer fort mou, rouverin, a parfaitement résisté à froid; les deux extrémités de la barre sont arrivées à $0^{m}.005$ de distance sans que la moindre gerçure se soit déclarée sur la partie coudée, tandis que le fer fort dur a cassé lorsque les deux extrémités de la barre n'étaient encore qu'à $0^{m},14$ de distance (les deux morceaux de fer dans ces essais avaient la même longueur).

A chaud, au contraire, le fer fort mou plié au rouge cerise aux deux points A et B a cassé sans présenter la moindre ténacité, et le fert fort dur a parfaitement résisté à l'épreuve aux deux points A'B' chauffés à la même température.

Le fer fort dur, quoique moins bon à froid que le fer fort mou, considéré d'une manière générale, était préféré au fer rouverin, son emploi à chaud étant plus facile. Ces fers, comme je l'ai déjà dit, se trouvaient cependant produits dans les mêmes circonstances, à part le mélange de minerais phosphoreux pour les fers fort durs.

Emploi de minerais phosphoreux.

Persuadé alors que le phosphore jouait ici un rôle important, je fis des essais en grand au haut-fourneau en introduisant du phosphore dans la fonte. Je pris pour véhicule de ce corps le minerai de Villebois (Ain), minerai oolithique très-phosphoreux, dont M. Berthier

a donné l'analyse (*Essai par voie sèche*, t. II, p. 231). Voici le résultat obtenu par ce savant chimiste :

Peroxyde de fer.	0,348
Eau.	0,126
Acide phosphorique.	0,002
Argile.	0,344
Carbonate de chaux.	0,180
	1.000

Ce minerai contient donc 0,002 d'acide phosphorique; vu cette énorme quantité de phosphore, pour ne pas obtenir des fers trop cassants à froid, je l'employai en faibles proportions. L'expérience me conduisit à la proportion d'un cinquième dans le poids total de la charge en minerais.

J'avais alors un lit de fusion rendant en fonte 240 kilogrammes et j'introduisais $0^{k},106$ de phosphore, ce qui me donnait une fonte contenant 0,00045 de ce métalloïde.

J'obtins avec ce produit des fers de qualité bien supérieure à ceux obtenus précédemment. Sans avoir perdu de leur ténacité à froid, ils n'étaient plus sensiblement rouverins.

Je citerai ici un exemple qui correspond exactement à l'essai :

Un fer mi-plat de $0^{m},055$ sur $0^{m},015$ fabriqué sans mélange de minerai phosphoreux, essayé à chaud, a cassé sur toutes les courbures, et le même échantillon fabriqué avec de la fonte contenant 0,00045 de phosphore a parfaitement résisté (*fig.* 3 et 4).

Par ce résultat, on voit l'explication de ce fait assez remarquable reconnu en métallurgie pratique : les fers et les fontes sont d'autant meilleurs que les qualités et espèces de minerais mélangés dans le lit de fusion sont

plus nombreuses. Ces améliorations de qualité sont simplement dues à l'influence de corps étrangers (manganèse, phosphore...) apportés par les minerais divers.

Je ne pouvais méconnaître dans ce dernier résultat d'essai l'influence du phosphore, qui était le seul agent introduit dans le nouveau roulement. Les éléments du laitier n'avaient pas varié; la fonte avait constamment été produite dans les mêmes circonstances, le puddlage et le réchauffage faits de la même manière et avec le même combustible.

Mais comment agit le phosphore pour annihiler en partie cette action du soufre? Telle est la question dont j'ai tâché de donner dans ce mémoire la solution déduite des essais et des observations que j'ai faits ces deux dernières années; persuadé que cette question serait d'un grand intérêt pour la science en jetant quelque lumière sur les composés triples de carbone, de fer et de phosphore, et de la plus grande utilité pour la pratique.

Essais pour déterminer l'action du phosphore.

Pour arriver à connaître cette action du phosphore sur le soufre dans les fontes, je fis les deux essais synthétiques suivants.

Je refondis dans des creusets nus au feu de forge :

1° 3 grammes 1/2 d'une belle fonte grise très-graphiteuse avec 0,14 de pyrite (bisulfure de fer);

2° 3 grammes 1/2 de la même fonte avec 0,14 de pyrite, 0,14 os calcinés et 0,09 d'argile blanche (réfractaire).

Dans les deux essais j'introduisais dans la fonte une quantité fixe de soufre; mais dans le dernier, j'introduisais de plus une certaine quantité de phosphore; car l'affinité *prédisposante* de la silice pour les bases à une haute température devait nécessairement amener

la décomposition du phosphate de chaux des os calcinés et l'acide phosphorique réduit par le carbone de la fonte devait se combiner au fer pour former un phosphure de fer. Les essais réussirent parfaitement. La fusion fut complète et la température poussée jusqu'au ramollissement du creuset. Les deux culots cassés étaient, comme je l'ai déjà trouvé dans un mémoire précédent *Sur l'influence du soufre sur la nature des fontes*, entièrement blancs.

Celui des deux culots qui ne contenait que du soufre fléchissait assez bien sous le marteau, quoique la fonte fût de très-mauvaise nature; ce n'était qu'un amas de cristallisations filamenteuses de protosulfure de fer.

Cette fonte avait un aspect terne; il était fort difficile de la pulvériser dans un mortier; elle s'aplatissait de manière à donner de petites paillettes. Certaines portions surtout étaient très-ductiles. Ces parties n'étaient sans doute que du fer libre resté à l'état de mélange dans le protosulfure; car on sait, d'après les recherches de M. Fournet *Sur les sulfures métalliques*, contrairement aux assertions de Karsten (*Manuel de métallurgie*, p. 122), que le protosulfure de fer peut être en partie décomposé en présence du charbon à une haute température.

Ce savant géologue en chauffant à 150° pyrogènes dans un creuset brasqué, des pyrites, a obtenu un culot de protosulfure de fer qui ne présentait presque pas de propriété magnétique.

Ce même culot, chauffé une deuxième fois très-fortement dans les mêmes circonstances, a fait un nouveau déchet et est devenu après cette deuxième fusion fortement magnétique, d'où il faut conclure à une perte de

soufre et à une production de fer libre dans le protosulfure restant.

Le culot qui contenait du soufre et du phosphore était, contrairement au premier, très-cassant; il s'est facilement broyé, pulvérisé, et n'a pas le moins du monde fléchi sous le marteau.

On peut déjà tirer de ce fait une conclusion très-répandue dans la pratique : que le phosphore nuit énormément à la ténacité des fontes.

A la loupe, on distinguait dans ce deuxième culot des portions à cristallisations sulfureuses placées à angle droit et des portions cristallines à facettes très-brillantes.

Analyse des deux culots.

Les culots de ces deux essais ont été pulvérisés le mieux possible et $1^{g},77$ de chacun d'eux ont été traités par l'eau régale. Il faut incliner très-fortement le ballon, car l'attaque est si vive qu'il y aurait certainement projection de la matière hors du flacon. Après une longue ébullition, en versant un peu de nouvel acide, j'arrivai à une dissolution complète, à part quelques grumeaux de soufre qui surnageaient dans la liqueur. Ces grumeaux, après filtration du liquide, furent recueillis au moyen d'une pince en acier et brûlés dans un creuset de platine parfaitement taré. La séparation de ces grumeaux de soufre du graphite en suspension dans la liqueur est très-facile à faire, et les résultats, en opérant comme je viens de le dire, sont très-exacts ; car le graphite adhère fortement au filtre au point qu'il est difficile de l'en séparer, et les grumeaux de soufre restent seuls sans graphite adhérent.

Voici le résultat de ces deux analyses.

L'essai fait avec des pyrites seulement a donné :

		gr.	
Sur 1g,77.	Soufre non attaqué par les acides. . . .	0,0150	
	Sulfate barytique, 0,33. Soufre.	0,0455	
		0,0605	soit 1,714 p. 100

L'essai fait avec des pyrites et os calcinés a donné :

		gr.	
Sur 1g.77.	Soufre non attaqué par les acides. . . .	0,020	
	Sulfate barytique, 0,23. Soufre.	0,032	
		0,052	soit 1,486 p. 100
	Perte de soufre.		0,228 p. 100

Une autre fonte grise essayée de la même manière, c'est-à-dire fondue d'abord avec des pyrites, ensuite avec des pyrites et des os calcinés, m'a donné à l'analyse sur 2 grammes les résultats suivants :

	gr.	
Essai fait avec des pyrites seulement. Soufre. . . .	0,0248	
Essai fait avec des pyrites et os calcinés. Soufre. .	0,0221	
Perte de soufre.	0,0027	soit 0,135 p. 100

Je trouve donc, en comparant ces résultats d'analyse, une perte de soufre d'un côté égale à 0,228 p. 100 du poids de la fonte et de l'autre à 0,135 p. 100, en la refondant avec de pyrites en présence du phosphore, puisque les deux essais de chaque fonte ont été faits en quantité égale de pyrite et que la déperdition de soufre est plus grande dans le cas où on ajoute des os calcinés (1).

Je pensai alors que cette perte de soufre provenait de la combinaison d'une portion de ce dernier avec le phosphore introduit après la fusion, ces deux corps, vu leur grande affinité, se combinant en toutes proportions pour former des composés très-volatils.

(1) Le soufre de la fonte première avant la fusion n'a pas été dosé. Il importait peu de connaître cette quantité qui était égale de part et d'autres dans les deux essais de chaque fonte. Il suffisait de savoir s'il y avait perte plus grande par addition de phosphore.

Pour arriver à constater si cette combinaison probable avait lieu, je fis deux essais synthétiques inverses, c'est-à-dire je refondis :

1° 5 grammes d'une fonte grise avec 0,20 de pyrite, 0,20 d'os calcinés, 0,10 argile;

2° 5 grammes de la même fonte avec 0,10 d'argile et 0,20 os calcinés, pour voir ce que devenait le phosphore après cette deuxième fusion en présence des pyrites.

Les deux essais me donnèrent deux culots parfaitement fondus, mais entièrement différents quant aux caractères extérieurs. Le premier, sans être très-ductile, s'aplatissait légèrement sous le marteau avant de casser; sa cassure n'était pas unie et miroitante comme celle du culot provenant de l'essai avec os calcinés sans pyrite.

Ce dernier, au contraire, était très-friable, ne s'aplatissait pas sous le marteau, cassait au premier coup; cassé, il présentait une surface parfaitement unie, gris d'argent, assez brillante sans aucune fissure. A part le manque de ductilité, il avait beaucoup des caractères extérieurs du nickel.

Cette différence assez grande dans les caractères extérieurs des deux culots pouvait me faire croire à une perte de phosphore en présence du soufre.

Recherche du phosphore.

Pour m'en convaincre, je refondis encore :

5 grammes d'une fonte grise avec 0,20 de pyrite, 0,20 d'os calcinés et 0,20 d'argile;

5 grammes de la même fonte avec 0,20 d'os calcinés et 0,20 d'argile.

Je traitai ensuite 2 grammes de chaque culot par l'eau régale. Lorsque la dissolution fut complète, j'ajoutai de l'eau, filtrai la liqueur rendue préalablement alcaline. Je versai ensuite une assez grande quantité de

sulfhydrate d'ammoniaque pour décomposer le sous-phosphate de fer formé. Le précipité obtenu très-volumineux me présenta d'énormes difficultés pour un lavage complet, et je craignis que le sous-phosphate noyé dans ce précipité aussi volumineux n'échappât à l'action du réactif.

Renonçant à ce moyen, je lavai à grande eau le précipité de fer obtenu par l'ammoniaque et le traitai ensuite par trois fois son poids de carbonate potassique au creuset de platine,

Reprenant le tout par l'eau bouillante et filtrant, j'obtins une liqueur contenant le phosphate potassique, du carbonate potassique et un peu de silice gélatineuse. Évaporant à siccité parfaite et reprenant par l'acide chlorhydrique, j'obtins une liqueur ne contenant plus, après filtration, que du phosphate de potasse et du chlorure de potassium.

La liqueur traitée alors par un sel de chaux me donna un phosphate calcique, d'après lequel je pouvais déduire le phosphore cherché. Mais la composition de ce phosphate étant variable, je traitai le précipité obtenu par l'acide sulfurique et l'alcool étendu.

Connaissant ainsi le poids de la chaux, par différence j'eus celui de l'acide phosphorique et par suite du phosphore.

Essai fait avec os calcinés. . . . . — Acide phosphorique, 0,024
Essai fait avec pyrite et os calcinés. — Acide phosphorique, 0,027

On voit d'après ces deux résultats d'analyse que le phosphore ne disparaît pas dans la fusion de la fonte en présence du phosphate de chaux et des pyrites, tandis que les analyses des essais inverses ont attesté une perte de soufre qui évidemment ne peut pas provenir d'une

combinaison volatile de soufre et de phosphore, comme on pouvait le penser.

M. Gruner, ingénieur en chef des mines, mon excellent professeur, auquel je dois de nombreux renseignements utiles à ce mémoire, m'engagea à reprendre les deux culots premiers et d'y rechercher le carbone pour m'assurer s'il ne jouait pas un rôle important dans le départ du soufre que j'avais trouvé.

Ce dernier avait, en effet, remarqué dans un essai par voie sèche d'un minerai très-phosphoreux des grenailles isolées du culot principal, qui ne jouissaient d'aucune propriété magnétique, surnageaient vu leur densité plus faible, et qui n'étaient sans doute que du phosphure de fer avec absence de carbone; car, s'il en eût été autrement, on aurait eu simplement de la fonte phosphoreuse qui aurait possédé les propriétés magnétiques du culot.

Il pouvait en effet se faire, dans les essais que j'avais tentés, que le phosphore tendant à se combiner avec le fer de la fonte pour former un phosphure se substituât à une certaine quantité de carbone qui, rencontrant le soufre des pyrites, formât un sulfure de carbone indépendant de celui qui se formerait par la présence des pyrites seules sans le concours du phosphore.

On aurait alors de cette manière l'explication de la perte de soufre constatée sans la moindre déperdition de phosphore.

Ces analyses de carbone présentant de grandes difficultés, surtout dans une usine métallurgique où les laboratoires laissent beaucoup à désirer, je pris la marche suivante qui me dispensait de monter des appareils tels que celui de M. Regnault pour la combustion de la fonte, seul moyen qui paraisse convenable pour doser d'aussi faibles quantités de carbone.

Je refondis dans un creuset nu au feu de forge :

1° 10 grammes de fil de fer très-fin (n° 8 du commerce) coupé en très-petits morceaux avec 0,20 de pyrite ;

2° 10 grammes du même fil de fer avec 0,20 de pyrite et 0,20 d'os calcinés.

Je dosai ensuite le soufre dans les deux culots pour voir si dans le dernier cas j'obtiendrais une déperdition de soufre, comme dans la fusion de la fonte dans les mêmes circonstances.

Car si dans les deux essais l'analyse me donnait même quantité de soufre, je pouvais affirmer que le carbone était le seul agent qui avait amené la déperdition du soufre dans le cas de la fusion de la fonte, et que c'était bien le phosphore, en se substituant au carbone, qui avait aidé à cette déperdition.

En fondant le fil de fer en présence de pyrite dans un creuset nu, on pourrait craindre une perte de soufre par oxydation de l'air. Je ferai remarquer que cette perte n'est pas à craindre dans le cas qui m'occupe, car j'ai opéré sur une grande quantité de fer qui recouvrait d'une manière complète les pyrites et les abritait tout à fait du contact de l'air.

Ce deux essais réussirent parfaitement ; les deux culots étaient très-bien fondus.

Celui qui n'avait été fait qu'avec du phosphate de chaux était très-dur, se cassait facilement. On voit déjà par ce fait que le phosphore tend à rendre les fers très-cassants à froid.

Je pulvérisai aussi bien que possible 1g,90 de chaque culot que je traitai par l'acide nitrique bouillant, afin d'éviter toute perte de soufre par formation d'hydrogène sulfuré. J'ajoutai ensuite quelques gouttes d'acide chlorhydrique pour aider la dissolution.

Tout fut parfaitement dissous, à part un seul grumeau de soufre qu'il a été très-facile de recueillir. Chaque dissolution fut traitée par le chlorure de barium et j'obtins les deux résultats suivants :

Essai fait avec pyrite et os calcinés.

Soufre non attaqué par les acides. . .	0,0150	
Sulfate de baryte 0,03. Soufre.	0,0041	
	0,0191 —	0,0191

Essai fait avec pyrite seulement.

Soufre non attaqué par les acides. . .	0,0001	
Sulfate de baryte 0,065. Soufre. . . .	0,0089	
	0,0189 —	0 0189
Différence.		0,0002

Nous obtenons donc deux quantités de soufre égales dans les deux essais, puisqu'en calculant le soufre du sulfate de baryte obtenu avec cinq décimales, je n'ai une différence que sur les dixièmes de milligrammes. Il s'ensuit donc alors que le phosphore n'enlève aucune partie du soufre, lorsqu'on refond du fer en présence de pyrites et de phosphore.

Au contraire, en fondant de la fonte avec des pyrites et du phosphate de chaux, nous avons trouvé perte de soufre.

Conclusion. Ces deux essais ne diffèrent que par le carbone; il s'ensuit, comme je l'ai dit plus haut, qu'il faut attribuer la déperdition du soufre à la combinaison de ce dernier avec le carbone, combinaison facilitée par la présence du phosphore qui, tendant constamment à former du phosphure de fer, se substitue à une certaine quantité de carbone.

De là découle naturellement l'explication des fers moins rouverins obtenus avec un mélange de minerais phosphoreux ou, ce qui revient au même, *de l'influence*

du phosphore neutralisant en partie l'action du soufre dans les fers.

Ces considérations nous donnent également l'explication d'un fait reconnu en métallurgie pratique, l'explication donnée jusqu'à présent étant insuffisante, bien qu'elle soit vraie en partie. Il n'est pas de métallurgiste pratique qui n'ait traité des minerais très-phosphoreux sans obtenir souvent contrairement à son attente, avec une allure chaude et des laitiers annonçant une réduction complète, des fontes entièrement blanches. Constamment on a supposé que le phosphore donnait trop de fusibilité au lit de fusion et qu'il s'opposait par suite à la formation de fonte grise.

Indépendamment de cette explication, qui a du vrai, il faut y ajouter la perte de carbone produite par la tendance du phosphore à former un phosphure de fer. Car si la fusibilité seule agissait, les laitiers seraient parfois dans ce cas légèrement chargés de fer, ce qui n'a pas lieu.

Dans tous les essais synthétiques et résultats analytiques développés, nous trouvons que le phosphore dans le traitement métallurgique des minerais de fer tend à faire disparaître une portion du soufre apporté soit par les minerais, soit par le combustible minéral en favorisant l'isolement du carbone de la fonte qui se combine alors avec le soufre pour former du sulfure de carbone.

Double action du phosphore.

Indépendamment de ce fait, les fers phosphoreux, comme le dit Karsten (*Manuel de métallurgie*), conservent mieux leur chaleur, passent plus vite à la chaleur blanche, chaleur qui se répartit uniformément dans tous les points; tandis que les fers sulfureux et par suite rouverins se refroidissent rapidement et d'une manière peu uniforme. La barre de fer forgée dans cet

état ne présentant pas d'homogénéité, casse très-facilement.

Observations sur le roulement à obtenir avec des minerais phosphoreux.

Cette dernière explication, jointe à celle du départ d'une portion du soufre par la présence du phosphore, montre d'une manière évidente combien, dans certains cas, l'influence du phosphore, qui a constamment été considéré comme un corps très-nuisible, peut être avantageuse.

Le métallurgiste doit en user avec modération, c'est-à-dire éviter d'en avoir une trop grande quantité dans le lit de fusion; car on sait qu'après le refroidissement complet, les fers phosphoreux sont *tendres*, cassants et doués d'une faible résistance.

Il faut donc, si l'on est poussé par la qualité des fers à employer un mélange phosphoreux, arriver par des analyses ou de nombreux essais en grand à trouver la quantité de phosphore strictement nécessaire à introduire dans le lit de fusion.

Ces essais doivent être faits avec beaucoup de soin, car on sait, d'après Karsten, que la limite extrême de teneur en phosphore pour les bons fers est de 0,30 p. 100, et que cette quantité dépassée, les fers perdent leur ténacité à froid et ne résistent plus au choc.

Les fers très-phosphoreux, très-cassants à froid, sont ordinairement à structure grenue sur la cassure, à facettes brillantes et ne présentent pas de structure nerveuse comme certains fers forts.

Ils sont ordinairement recherchés par les métallurgistes pratiques pour certains emplois où les fers fort mous, légèrement rouverins, ne peuvent convenir, les fers de clouterie, par exemple.

Aussi voit-on souvent en pratique demander pour certains usages des fers cassants.

On a en effet remarqué, sans se rendre compte de la

vraie cause, que ces fers à facettes, cassants à froid, se forgent très-facilement.

Il ne faut pas conclure de là, comme cela arrive souvent, que tous les fers à facettes cassants à froid sont toujours bons à chaud. En effet, qu'on prenne du mauvais fer, chargé de silicium, par exemple, et on aura dans ce cas du fer également cassant à chaud et à froid qui ne se travaillera pas aussi bien qu'un fer nerveux bien préparé et exempt de ce métalloïde. Le métallurgiste pratique qui n'aura vu dans cet essai qu'un fer à facettes brillantes, cassant à froid, sera étonné de voir le même fer également cassant à chaud.

Il faut donc avant tout bien s'assurer que ces fers sont légèrement cassants à froid par la présence d'une faible quantité de phosphore, et qu'ils ne doivent pas cette propriété à la présence de tout autre métalloïde ou à toute autre cause inhérente au traitement métallurgique.

Dans tous les essais en grand faits pour favoriser le passage du phosphore dans la fonte, sans compromettre sa qualité en facilitant également le passage du silicium, j'ai constamment reconnu que le roulement obtenu au haut-fourneau avec un lit de fusion donnant quantité égale d'argile et de carbonate de chaux était le plus convenable.

Dans ce cas, les laitiers ont la composition suivante :

				Composition rapportée à 100.	Oxygène.		
100 argile (1)	Silice.	75	»	48,07	24,97	24,97	B^7S^{10}
	Alumine. . . .	25	156	15,94	7,44	17,55	
100 calcaire.	Chaux.	56	»	35,99	10,11		
	Acide carb^{que}.	44					
				100,00			

(1) J'ai supposé dans cette décomposition des éléments de l'argile et du calcaire une composition chimique pure, et j'ai

La composition de ce laitier peut être représentée par la formule B^7S^{10}.

Ces laitiers sont très-convenables à un bon roulement; car, sans être trop siliceux et par suite ne pouvant nuire à la qualité de la fonte en favorisant la réduction de la silice, ils ne contiennent pas une quantité de base trop grande pour empêcher la décomposition des phosphates du lit de fusion et le passage du phosphore dans la fonte.

En terminant, je mentionnerai ici le mémoire de M. Stengel (*Annales des mines*, t. X, 3e série), qui prétend avoir essayé des fers très-sulfureux qui n'étaient pas le moins du monde rouverins. Il prétend que c'est au cuivre qu'il faut *surtout* attribuer cette propriété du fer.

Tout le monde sait bien, en effet, qu'une faible quantité de cuivre empêche le fer de se souder et le rend rouverin à un très-haut degré. Mais je dirai, contrairement à M. Stengel, que ce n'est pas *surtout* au cuivre qu'il faut attribuer la propriété de rendre les fers rouverins (c'est au contraire la rare exception), mais bien, *dans la plupart des cas*, à la présence du soufre, la présence du cuivre se manifestant très-rarement dans le traitement métallurgique du fer. D'ailleurs dans tous les essais en grand que j'ai faits avec soin, si le cuivre eût été la cause du fer rouverin obtenu, j'aurais eu des fers de couleur à la fois dans le traitement au combustible minéral et dans le traitement au combustible végétal, ce qui ne s'est jamais présenté.

---

négligé les fractions qui y entrent, en ne prenant que des nombres entiers qui suffisent dans la pratique où les dosages ne peuvent avoir une composition parfaitement constante.

Qu'on examine aussi les fers obtenus dans la Bourgogne et la Franche-Comté au combustible végétal et ceux obtenus avec les mêmes minerais traités au combustible minéral dans les usines de la Loire ou du Rhône, et on trouvera constamment une énorme différence comme fers rouverins. Ces derniers doivent donc cette propriété à la présence des pyrites de la houille.

Pour bien se rendre compte de la question, il aurait fallu, je crois, dans les essais qu'a faits M. Stengel, indépendamment du soufre, rechercher si une quantité notable de phosphore n'annihilait pas la présence du soufre dans ces fers non rouverins.

RÉSUMÉ.

On voit d'après les recherches et essais analytiques donnés dans ce mémoire :

1° Que des traces de soufre suffisent pour donner au fer des propriétés nuisibles et le rendre rouverin ;

2° Que le passage du soufre dans les fers en général se fait principalement dans la fusion du minerai en contact du combustible minéral dans le haut-fourneau, et que par suite c'est dans cette opération qu'il faut tâcher de s'en préserver ;

3° Que le phosphore dans le lit de fusion annihile une portion du soufre dans les fontes en se substituant au carbone et facilitant par suite la formation du sulfure de carbone ;

4° Qu'il n'y a pas déperdition de phosphore en refondant les fontes et les fers en présence de pyrite ;

5° Que le phosphore dans les fers facilite leur travail

à chaud, tout en les rendant plus durs et plus difficiles à entamer;

6° Qu'il faut bien étudier les éléments du lit de fusion pour ne pas introduire dans les fers une trop grande quantité de phosphore et les rendre trop cassants à froid par un excès de ce métalloïde.

RAPPORT

SUR LES MINES DE HOUILLE D'HÉRACLÉE.

Par MM. GARELLA, ingénieur en chef des mines,
et HUYOT, ingénieur des mines.

Le bassin houiller d'Héraclée est situé (Pl. I, *fig.* 8 et 9) sur la côte septentrionale de l'Asie Mineure, à une petite distance à l'est d'Héraclée (en turc Benderegli, l'ancienne Heraclea Pontica), entre le 29° et le 30° degrés de longitude orientale du méridien de Paris. Il s'étend sur une longueur d'environ 50 kilomètres, du S.-O. au N.-E., et sur une largeur qui n'est pas bien exactement connue, mais qu'on peut évaluer moyennement entre 4 et 6 kilomètres. Il commence à se montrer à Kissé-Aghazy, 6 kilomètres N.-E. d'Héraclée, et se prolonge sans discontinuité jusqu'au delà du cap Kilimli (Kilimli burun) à Djattal-Aghazy, près de la rivière de Filijas ou Filios qui descend de Boli (l'ancienne Claudiopolis).

Du côté du nord, il touche au rivage même de la mer, où l'on distingue sur certains points des affleurements qui se montrent sur les falaises escarpées qui la bordent, et où il existe quelques petites exploitations qui en sont tellement rapprochées qu'elles pourraient presque verser directement leurs produits dans la mer.

Du côté du sud, le bassin houiller paraît s'appuyer sur les derniers contre-forts que lance vers la mer Noire, la chaîne centrale du mont Olympe (Boli-Dagh), contre-forts qui vers leur extrémité se replient de manière à présenter entre Héraclée et la rivière Filios une petite chaîne dirigée du N.-E. au S.-O. parallèlement

à la côte, et de laquelle se détachent des ramifications perpendiculaires qui, traversant tout le terrain houiller, ont mis à nu les affleurements des couches de houille et en ont facilité la découverte et l'exploitation. La surface du sol, en général assez fortement accidentée, présente en certains points des escarpements rapides, mais presque partout des mamelons arrondis, recouverts de terre végétale à travers laquelle la roche se montre çà et là; tout le terrain est recouvert de forêts épaisses, en partie de bois taillis, en partie de hautes futaies, où les essences dominantes nous ont paru le chêne blanc, le hêtre, le micocoulier, le laurier Apollo, le rhododendron, etc. Nous n'y avons point remarqué d'arbres résineux. A une certaine distance à l'est de ce bassin, et seulement à 2 1/2 ou 3 kilomètres S.-O. d'Amasrah, on trouve un lambeau de terrain houiller d'une assez faible étendue, qui appartient à la même formation, mais n'a qu'une importance bien moindre, tant à cause de la faible puissance des couches qu'on y exploite, et qui ne s'élève pas à un mètre, que de la détestable qualité du charbon qu'on en tire, charbon excessivement mélangé de parties pierreuses et de pyrites de fer dont la décomposition le rend spontanément inflammable à l'air. Il paraît cependant que c'est à la découverte fortuite de ce terrain carbonifère que sont dues les recherches successives qui ont amené celle du bassin plus étendu d'Héraclée, bien qu'il en soit séparé par une distance stérile de 35 à 40 kilomètres.

Description géologique.

Les roches qui composent le terrain carbonifère d'Héraclée sont en tout semblables à celles qui constituent les terrains houillers les mieux caractérisés en Europe. Ce sont diverses variétés de grès de couleur généralement claire, présentant tous les passages du grès à grains fins et serrés à un grès à noyaux de la

grosseur d'une noisette; ces grès passent quelquefois à l'argile et au sable, surtout dans le voisinage des affleurements des couches de houille. Au milieu de ces roches, on retrouve des bancs de schistes argileux, dans lesquels on reconnaît une assez grande abondance de végétaux fossiles qu'il ne nous a pas été possible de déterminer d'une manière bien précise, mais dans lesquels nous avons reconnu des sphénopteris, des pécopteris, des sigillaria, des calamites, etc., et qu'il est d'ailleurs facile ds reconnaître comme appartenant aux classes qui caractérisent les terrains houillers. Il ne peut donc y avoir aucun doute sur l'étage géologique auquel il convient de rapporter le terrain carbonifère d'Héraclée. C'est bien le véritable terrain houiller, situé comme les plus importants de la France et de l'Angleterre à la base des terrains secondaires. Par l'ensemble de ses caractères il présente une composition analogue à celles des grands bassins pélagiens connus dans ces contrées, il s'y rattache encore par son étendue et l'allure des couches qu'il renferme.

Terrains inférieurs.

Les terrains sur lesquels repose ce bassin nous ont paru, autant qu'il nous a été possible d'en juger dans une exploration rapide, présenter tous les caractères minéralogiques du terrain devonien. Ces terrains, que nous avons traversés pour nous rendre d'Héraclée aux mines les plus rapprochées, nous ont présenté une succession de grauwackes, de grès à grains fins, de conglomérats grossiers, et enfin de calcaire compacte gris foncé. C'est cette dernière roche que nous avons rencontrée le plus fréquemment au voisinage du terrain houiller au milieu duquel elle se montre même en quelques points isolés, et au travers duquel elle a été soulevée pour former quelques caps avancés dans la mer. Peut-être ce calcaire pourrait-il être regardé comme

appartenant au terrain houiller, et alors il devrait être rapporté au calcaire métallifère des Anglais (Mountain limestone). Nous avons retrouvé ce même calcaire aux environs des mines d'Amasrah ; mais là on rencontre une formation trachitique dont les roches sont parfaitement caractérisées par de grands cristaux d'albite très-bien déterminés. Elle nous a paru prendre une grande extension aux environs et surtout vers l'est d'Amasrah. Nous en avons retrouvé en nous rendant aux mines, des carrières paraissant remonter à une époque reculée, car les maisons que l'on construit actuellement sont presque entièrement en bois. Les matériaux de la plupart des anciennes constructions en pierre de la ville appartiennent à cette dernière formation.

Tels sont les différents terrains que nous avons été à même d'observer, et la position relative que nous avons cru pouvoir leur assigner à la suite de notre exploration, mais nous devons ajouter que cette exploration a été beaucoup trop rapide pour que nous puissions appuyer notre opinion sur des preuves et des arguments incontestables.

Nombre et allure des couches de houille.

Il n'y a que quelques années que le gouvernement turc a cherché à mettre un peu d'ordre dans l'exploitation des mines du bassin d'Héraclée ; il n'est donc point étonnant que le nombre des couches n'y soit pas encore connu. Si l'on en jugeait par le nombre des exploitations qui sont elles-mêmes très-multipliées, en supposant que chaque mine ait été ouverte sur une couche différente, ce nombre devrait être considérable. Mais évidemment cette hypothèse est inadmissible, et la distribution même des exploitations échelonnées sur toute la longueur et sur la direction générale du bassin qui est la même que celle des couches, est une preuve que la plupart des couches, sinon toutes, sont exploitées

sur plusieurs points. Il faudrait une étude longue, détaillée et minutieuse, basée non-seulement sur des observations souterraines et sur les résultats d'une exploitation développée, mais encore sur des observations topographiques nombreuses et faites avec beaucoup de soin, pour arriver à pouvoir établir une relation entre les couches reconnues et exploitées sur les différents points. On comprend de quel intérêt une pareille détermination faite d'une manière certaine pourrait être pour une exploitation intelligente, établie sur une grande échelle en vue de la satisfaction de besoins nombreux et dirigée aussi en vue d'assurer les ressources de l'avenir. On parviendrait ainsi seulement à connaître le nombre et la qualité des couches sur l'exploitation desquelles on pourrait compter, quand on ouvrirait une nouvelle mine ; et, dans les mines anciennes, on saurait ainsi quelles sont les couches déjà connues sur d'autres points qu'il serait possible de rejoindre sans établir de nouvelles ouvertures, dans quelle direction il conviendrait de les rechercher et la distance probable à laquelle on pourrait espérer de les rencontrer.

La solution de cette question présente une importance moins grande, quand il s'agit seulement de reconnaître les ressources que peut présenter le bassin ; et tel était l'objet de notre mission. En effet, le point le plus essentiel est que des couches exploitables de charbon de bonne qualité se présentent sur toute la longueur du bassin ; il est peu important que la même couche se prolonge d'une manière régulière sur toute cette étendue ou que ce soient des couches différentes qui se montrent sur les différents points. Il nous paraît toutefois à peu près certain que cette condition de la persistance de quelques couches doit se rencontrer pour quelques-unes bien que la rapidité de notre exploration

et l'absence d'observations dirigées dans ce sens ne permettent pas de décider à quelles couches elle s'applique. D'un autre côté, le bassin, quoique ayant une direction générale bien déterminée, la même que celle de la côte qui court du S.-O. au N.-E., n'a point une forme régulière. Il paraît présenter un renflement considérable un peu à l'est de son point central vers Ballik et Zougouldak ; et là aussi il présente en même temps une plus grande richesse et une plus grande quantité de couches dont quelques-unes, les plus éloignées de la mer, doivent être nécessairement limitées en longueur, à l'étendue de ce renflement dans une direction parallèle à la côte.

Dans la partie centrale du bassin, dans la vallée de Coslou, on connaît six couches bien distinctes, dont une, la plus petite, a $1^{m},80$ de puissance : les autres ont de 3 à 4 mètres. Leur direction est à peu près la même pour toutes, elle court du N.-E au S.-O. avec une pente généralement assez faible, qui s'éloigne peu de l'horizontale et s'élève seulement à 10 ou 12 degrés. Il y a cependant des points où cette dernière augmente brusquement et passe presque à la verticale, en sorte qu'il en résulte des plissements qui sont un des caractères particuliers des couches des grands terrains houillers. La qualité de la houille de ces couches est assez bonne, mais meilleure à mesure que l'on s'éloigne de la mer et en même temps le charbon présente plus de solidité et de compacité. Un peu plus au N.-E. de ce point central, à Zougouldak, on retrouve une couche exploitée de $4^{m},50$ de puissance et presque horizontale, qui pourrait bien être le prolongement de l'une des couches les plus intérieures de Coslou. En se dirigeant plus vers l'Est, c'est-à-dire de manière à recouper à peu près la direction du bassin, on trouve plusieurs

couches évidemment différentes, également exploitées de $2^m,50$ à 3 mètres de puissance, présentant une direction N. 30° E. : c'est-à-dire peu éloignée du N.-E. et une pente de 25° vers le Sud. Cette même direction, avec le même pendage, se retrouve dans une couche de 4 mètres de puissance que l'on vient de commencer à attaquer à Zougouldak. Vers la partie occidentale du bassin à Armoudjick, on a commencé depuis quelques mois de nouvelles exploitations qui ont mis à découvert trois et peut-être quatre couches, l'une de $4^m,50$ dirigée de l'Est à l'Ouest et presque verticale, une seconde de 3 mètres, et une troisième (peut-être même une quatrième) de $2^m,50$ toutes dirigées presque Est et Ouest avec une pente un peu plus faible que la première, seulement de 50 à 70° vers le Sud. Outre ces couches puissantes et étendues qui donnent de la houille de qualité en général bonne et sur quelques points réellement supérieure (Ballik et Zougouldak) et qui peuvent suffire pendant longues années à une consommation bien plus grande que celle qui s'en fait actuellement, il en existe d'autres moins puissantes qui peuvent aussi être exploitées avec avantage et concourir à l'alimentation de la consommation. Près de Kissé-Aghazy, à l'Ouest du bassin, on exploite deux petites couches de 1 mètre seulement, dirigées au N. 20° O., avec une pente de 25° vers le Sud, donnant l'une de la houille d'assez médiocre qualité mélangée de parties schisteuses, mais dont l'une fournit de bon charbon. Plus vers l'Est, à Djattal-Aghazy, on exploite trois ou quatre petites couches de 1 mètre à $1^m,25$ de puissance, dirigées au N. 15° E. avec une pente de 40 à 45 au Sud, donnant également de la bonne houille, dans quelques-unes desquelles la puissance de la couche est interrompue par un nerf ou partie pierreuse.

En résumé, on remarque dans les directions des couches du bassin houiller d'Héraclée, trois directions principales, toutes peu éloignées de la direction générale du bassin qui est celle du N.-E. au S.-O. Elles correspondent chacune à un pendage différent ;

Ce sont les suivantes :

1° Direction du N.-E. au S.-O. pour les parties de couches horizontales ou présentant une faible inclinaison de 5 à 15° au plus vers le S.-E. ;

2° Direction du N. 20°, à 25° E., au S. 20 à 25° O. pour les inclinaisons de 20 à 25° toujours vers le Sud ;

3° Enfin, direction E.-O. pour les portions plus rapprochées de la verticale dont la pente est supérieure à 50°.

La première direction est celle qui nous a paru de beaucoup la plus répandue. Elle appartient à la portion du bassin qui est presque horizontale, et c'est aussi celle qu'affecte l'ensemble des couches. Quant aux deux autres, elles correspondent à deux systèmes de plis ou contournements de couches, accident général aux terrains houillers, et qui forme même un des caractères distinctifs des bassins reconnus comme présentant la plus grande étendue et la plus grande régularité, tant en Angleterre qu'en France et en Prusse.

Nous avons cru devoir insister sur ce point, afin de bien établir que cette grande diversité apparente de directions et de pendages, qui frappe dès l'abord l'observateur superficiel, ne doit point être regardée comme une preuve d'irrégularité dans les allures du bassin, mais n'est qu'une suite naturelle des caractères des grandes formations houillères.

De ce qui précède, on peut conclure qu'il existe dans le bassin houiller d'Héraclée au moins sept couches de $2^m,50$ à 4 et 5 mètres de puissance, présentant ensemble une épaisseur de 20 mètres au moins de charbon, même

en admettant que les couches puissantes connues vers l'extrémité occidentale du bassin ne soient que le prolongement de celles qui sont exploitées dans la partie centrale, circonstance rendue assez probable par la direction générale des couches et du bassin. D'un autre côté, la différence de puissance et de qualité du charbon extrait, ne permet cependant pas de repousser d'une manière absolue cette opinion, car il est rare de voir une couche maintenir ses caractères avec une constance rigoureuse sur une longueur aussi grande, ces deux points étant séparés par plus de 30 kilomètres. Comme nous l'avons dit plus haut, une portion de ces couches ne paraît pas s'étendre au delà du renflement central du bassin, mais une autre portion, et certainement la plus grande, paraît se prolonger sur toute la longueur. On ne doit pas croire cependant que sur cette étendue si considérable, les couches se prolongent constamment avec la même puissance et les mêmes caractères sans interruption et sans dérangement. Au contraire, les exploitations actuelles, quoique peu étendues, ont fait reconnaître de ces dérangements auxquels, toutes les fois qu'on les a rencontrés, on a limité le champ d'exploitation, mais dont on n'a jamais cherché à déterminer la nature. Sont-ce des rétrécissements, des étranglements ou des failles? C'est ce qu'il est difficile de déterminer, car il n'y a aucune observation dans ce sens, et on n'a jamais fait aucune espèce de travail pour les traverser; mais on ne peut douter que sur la longueur totale du bassin qui, ainsi que nous l'avons dit plus haut, est de près de 50 kilomètres, chacun de ces accidents doit se présenter plusieurs fois. Dans les mines où les travaux souterrains ont été poussés jusqu'au dérangement, on a suivi les couches parfaitement réglées sur près de 300 mètres de lon-

gueur, et sur une largeur de 200 mètres environ. Au reste ce caractère de l'allure des couches est encore particulier aux terrains houillers, et il ne doit pas plus inspirer de craintes sur l'abondance des ressources du bassin que le contournement des couches que nous avons cité plus haut.

Il est facile de se former une idée de cette abondance, si à l'épaisseur des couches citées ci-dessus, on ajoute celle de 1 mètre et 1m,25 dont nous n'avons pas tenu compte et si l'on réfléchit que ces immenses richesses ont été jusqu'à présent à peine attaquées au voisinage des affleurements. Sans chercher à faire ici un calcul du nombre de tonnes qui peuvent exister dans le bassin d'Héraclée, calcul qui ne serait pas basé sur des données assez positives pour que nous osions nous permettre de le présenter, nous nous contenterons de rappeler que le bassin de Saint-Étienne (Loire) contient 15 à 18 couches présentant ensemble une épaisseur de 35 mètres de charbon, que le point le plus riche du bassin de la Grand-Combe présente 25 mètres de charbon; que dans le bassin d'Aubin (Aveyron), on ne compte que sur une épaisseur de 15 à 20 mètres; et que d'après nos observations on peut compter dans le point le plus riche du bassin d'Héraclée, sur une épaisseur totale certainement supérieure à 20 mètres. Un rapport de M. le capitaine du génie Rittier mentionne un affleurement, de 10 mètres de puissance, mais nous sommes portés à croire qu'il a fait erreur. Nous n'avons pu voir ce magnifique affleurement, ni obtenir un renseignement sur sa situation. Nous n'avons pas exploré le terrain compris entre le bassin houiller et le petit lambeau d'Amasrah, et dans lequel il n'existe aucune mine. D'après les renseignements que nous a donnés M. Barkley, nous avons cru pouvoir le rap-

porter au calcaire inférieur, et par conséquent le classer comme stérile en charbon ; mais cette opinion aurait besoin d'être appuyée sur des observations précises. Si ce terrain était reconnu comme appartenant aux états géologiques supérieurs ou terrain houiller, il serait très-probable qu'il existât une liaison souterraine entre les mines d'Héraclée et celles d'Amasrah.

Qualité de la houille.

La qualité du charbon fourni par les exploitations est en général assez bonne (il faut en excepter celle d'Amasrah). D'après un rapport du commander Spratt commandant le vapeur anglais Spitfire, le charbon des mines de Coslou peut être comparé à celui de Newcastle, mais il laisserait à désirer pour les navigations de longue durée ; ce que nous croyons pouvoir attribuer à ce qu'il est assez léger, et brûle avec une longue flamme, d'où il résulte qu'une grande partie du carbone entraîné par la fumée, échappe à la combustion, et encrasse très-rapidement les chaudières et les cheminées.

D'après les renseignements qui nous ont été fournis personnellement par quelques officiers commandant des vapeurs de la marine française qui ont eu l'occasion d'employer le charbon de Coslou, et notamment par M. le capitaine de frégate d'Heureux, commandant *la Mouette*, qui en a fait prendre une certaine quantité sous nos yeux à Héraclée, ce charbon se comporte bien sur la grille, et il est d'un bon emploi ; au reste, nous devons dire que les mines de Coslou qui sont les plus développées et les mieux exploitées de tout le bassin, sont loin d'avoir été ouvertes sur les meilleures couches. L'opinion de MM. Barkley, ingénieurs anglais qui dirigent ces mines, est que la qualité du charbon s'améliore à mesure qu'on s'avance vers la partie orientale du bassin, et à mesure qu'on s'éloigne de la mer. Cette différence se reconnaît déjà

dans les mines de Coslou, où les couches les plus distantes du rivage fournissent de très-bon charbon, tandis que celui de la première mine, à 1.000 mètres environ de la plage, est fort ordinaire et surtout excessivement friable, en sorte qu'on extrait une très-forte portion, certainement plus de 50 p. 100 de menu impropre à l'alimentation de la navigation à vapeur. Cette opinion de MM. Barkley a été confirmée par nos observations : le charbon de la couche de Zougouldak à l'E. de Coslou, est beaucoup plus solide; il nous a paru gras et bitumineux, et comparable au meilleur charbon de Saint-Étienne. Celui de Ballik, à 6 kilomètres de ce dernier point, est d'une qualité au moins aussi bonne; celui des nouvelles mines d'Armoudjick, quoique situé à l'O. du bassin, mais à environ 4 ou 5 kilomètres de la mer, nous a paru au moins aussi bon que le meilleur des mines de Coslou.

Nous pouvons donc affirmer sans crainte d'être accusés d'exagération, que non-seulement les ressources que présente le bassin houiller d'Héraclée pour la production du combustible minéral sont considérables, mais encore que la majeure partie du combustible qu'il peut produire est d'excellente qualité.

Nous aurions désiré pouvoir donner ici l'analyse des échantillons de houille que nous avons recueillis sur les mines que nous avons visitées, mais les moyens matériels nous manquant pour en faire l'analyse, nous nous contenterons de consigner ici les résultats de celles qui ont été faites à Paris avant notre départ, par M. l'ingénieur Rivot, chef du bureau des essais à l'École impériale des mines (1).

---

(1) Les échantillons pris à des profondeurs plus considérables ont été analysés depuis notre retour en France. Ils

Ces échantillons ont été rapportés à une époque déjà reculée par M. de Chancourtois, ingénieur des mines, alors élève en mission.

Numéros.	DÉSIGNATION des échantillons.	MATIÈRES volatiles.	CENDRES.	CARBONE fixé.	TOTAL.
1	Mines d'Amasrah.	0,400	0,060	0,540	1,000
2		0,376	0,104	0,520	1,000
3	Mine de Djattal-Aghazy. . . .	0,276	0,114	0,610	1,000
4	Échantillons pris à Héraclée.	0,300	0,074	0,626	1,000
5		0,310	0,078	0,612	1,000
6	Mine de Djaouch-Aghazy. . .	0,354	0,048	0,598	1,000
7	Mine de Aladja-Aghazy. . . .	0,306	0,114	0,580	1,000

M. Rivot accompagne ces résultats des réflexions suivantes : A l'époque où la plupart de ces échantillons ont été recueillis, en 1844, les travaux des mines n'avaient encore été poussés qu'à une faible profondeur, et par suite les échantillons doivent être considérés comme provenant d'affleurements. Cette position doit influer d'une manière notable sur leurs propriétés, par exemple sur celle de donner du coke. Plusieurs de ces échantillons ne donnent pas de coke, d'autres ne font que s'agglomérer ; il est cependant possible et même probable que la houille exploitée à une profondeur plus grande soit propre à la fabrication du coke. L'échantillon n° 3 seul donne à la calcination un coke assez boursouflé. Les n°s 4, 5, 6 s'agglomèrent assez fortement sans changer de volume, et les n°s 1, 2 et 7, restent pulvérulents. Tous les échantillons sont d'un beau noir, très-friables, ce qui provient évidemment de leur position d'affleurements. Ils prennent feu facilement et brûlent

---

donnent tous un coke assez dur et des acides en petite quantité.

	Matières volatiles.	Cendres.	Carbone fixe.	Total.
Armoudjik.	0,31	0,05	0,64	1,00
Zougouldak. . . .	0,34	0,05	0,61	1,00
Aladja-Aghry. . .	0,45	0,04	0,51	1,00

avec une flamme longue et persistante sans éclater en morceaux. D'après leur composition et leurs propriétés, ils appartiennent au terrain houiller proprement dit ; les couches dont ils proviennent donneront probablement à une profondeur plus ou moins grande des combustibles de bonne qualité propres aux usages métallurgiques et aux chaudières à vapeur. Ces réflexions de M. l'ingénieur Rivot sont, comme on peut s'en assurer par ce qui précède, entièrement conformes à nos propres observations. Les échantillons analysés dont la moitié au moins contient une forte proportion de cendres, appartiennent aux mines d'Amasrah, ou à des mines les plus rapprochées de la mer. L'extension que les mines ont prise depuis cette époque, et la plus grande étendue qui a été donnée aux travaux d'exploitation, ont fait trouver de la houille de bien meilleure qualité comme celles de Zougouldak, Ballik et du sud de Coslou.

Description des mines exploitées.

Situation des mines.

Les mines ouvertes ou exploitées dans le bassin d'Héraclée, sont en général d'une faible étendue, les travaux souterrains étant arrêtés aux premiers obstacles qu'ils rencontrent, soit dérangement dans l'allure de la couche, soit affluence des eaux, éboulements, etc., aussi leur nombre est-il par cela même très-considérable, bien que l'exploitation n'en remonte pas à une époque fort ancienne. Ces mines disséminées sur toute la longueur du bassin, établies sur les points où l'attaque des couches a présenté le plus de facilité, sont divisées par l'administration turque en quinze groupes dont le tableau suivant fait connaître les noms et les positions relatives. Les deux dernières colonnes de ce tableau peuvent également donner une idée de l'impor-

tance relative de ces groupes, au point de vue des exploitations actuelles.

La première de ces colonnes indique les approvisionnements existant sur chacun des groupes au 8 avril 1854, d'après les renseignements fournis à M. le colonel du génie Jourjon, par le directeur des mines à l'époque de son voyage sur les lieux. La seconde indique les quantités extraites et mises en dépôt dans les journées des 2 et 3 juin, d'après les renseignements recueillis par M. le capitaine du génie Rittier. Ces quantités étaient exprimées en quintaux turcs de 55 kilogrammes (le quintal est de 44 ocqs de $1^k,25$); nous les avons transformés en tonnes de 1.000 kilogrammes. Ces chiffres ne doivent pas au reste être considérés comme rigoureusement exacts.

Ils ne sont évidemment qu'approximatifs, mais la même relation s'observe à peu près dans les deux évaluations entre les produits des divers groupes.

Numéros.	NOMS DES GROUPES.	DISTANCES ÉVALUÉES en heures de marées au groupe précédent.	DISTANCES ÉVALUÉES en heures de marées à Héraclée.	DISTANCES ÉVALUÉES en kilomètres au groupe.	DISTANCES ÉVALUÉES en kilomètres à Héraclée.	Approvisionnement au 8 avril.	Extraction des 2 et 3 juin.
		heures.	heures.	kilom.	kilom.	tonnes.	tonnes.
0	Dépôt principal d'Héraclée.	»	»	»	»	»	4.125
1	Kisse-Aghazy (Joch-Sabazy).	2 1/2	2 1/2	8	3	»	»
2	Deflenly (Armoudjuk). . . .	1	3 1/2	6	14	»	»
3	Aladja-Aghazy.	1	4 1/2	4	18	450	»
4	Kiredjelik.	1/2	5	2	20	330	55
5	Tchaouch-Aghazy.	1	6	3,5	23,5	»	25
6	Euksiné (Oksina).	3 1/2	9 1/2	20	43,5	1.100	330
7	Koslou.	1/2	10	3,5	47	10.000	5.500
8	Yeniharman.						
9	Tomusini.	1/2	10 1/2	2	49	1.200	25
10	Karatcharak.						
11	Zougouldak.	1/2	11	2	51	1.200	825
12	Ballik.	1	12	3	54	1.375	2.200
13	Kilimli.	1	13	3	57	4.400	825
14	Djattal-Aghazy.	2	15	6	63	825	250
15	Amasrah.	14 à 15	30	50	110	»	»

Les chiffres de la dernière colonne sont extraits d'un rapport de M. le capitaine Rittier, mais il y a évidemment erreur, car dans ce même rapport il est dit que les mines de Coslou peuvent fournir 2.500 tonnes par mois. Le chiffre du tableau serait donc le résultat d'au moins deux mois de travail. Il ressort évidemment de l'examen de ce tableau que les groupes les plus importants du bassin, tant par l'activité et le nombre des exploitations, que par la quantité de produits qu'ils peuvent livrer à la consommation, sont réunis dans la partie orientale, depuis l'exploitation principale de Coslou, en y comprenant celle d'Oksina, qui en est peu distante vers l'O., jusqu'aux limites même du bassin dans la direction d'Amasrah. C'est aussi d'après ce que nous avons dit plus haut, la partie où le terrain houiller prend la plus grande extension et où il présente la plus grande richesse en combustible minéral; le groupe le plus oriental, celui de Djattal-Aghazy, quoique n'ayant encore qu'une exploitation peu développée, paraît cependant présenter de grandes richesses. D'un autre côté, il y a tout lieu de penser que les exploitations entreprises depuis quelques mois seulement à Armoudjick sur des couches de 4 mètres de puissance, donnant du charbon solide de bonne qualité, prendront d'ici à peu de temps un grand développement et acquerront une importance qui les mettra sur la même ligne que les groupes voisins de Coslou. Quant à la position relative et à la distance respective des différents groupes de mines, elles ne sont indiquées d'une manière suffisamment approximative, sur le tableau ci-dessus, que pour les groupes contigus les uns aux autres : comme ces différents groupes sont à des distances fort variables du rivage de la mer, les longueurs des distances entre deux groupes éloignés l'un

de l'autre, ou entre un groupe quelconque et le port principal d'Héraclée, indiquent des distances comptées, non sur une ligne parallèle à la côte, mais seulement en suivant le chemin qui passe par toutes les mines, ce qui pourrait faire supposer au bassin une étendue en longueur beaucoup plus grande que celle qu'il a réellement. Ainsi la distance d'Héraclée à Amasrah évaluée à trente heures de marche ou 110 kilomètres, n'est en ligne droite que d'un degré de longitude, environ 92 kilomètres : la distance d'Héraclée à Coslou, centre principal des exploitations, évaluée à 47 kilomètres, ne s'élève guère à plus de 35 en réalité.

Pour qu'on pût se former une idée un peu plus exacte de la position et de l'étendue du bassin houiller d'Héraclée, nous avons cru devoir joindre à ce tableau, une carte que nous avons essayé d'établir d'après tous les documents que nous avons pu nous procurer sur les lieux, et en prenant pour base la carte prussienne de l'Asie Mineure par Kiepert, sur laquelle nous avons cherché à marquer aussi exactement que cela nous a été possible, les principales mines et les limites que nous avons cru pouvoir assigner à la formation carbonifère.

Organisation de l'exploitation.

Les mines d'Héraclée ne sont point, comme on a pu le penser en France, une propriété de l'État; bien qu'appartenant pour la plus grande partie au sultan, ce sont de véritables propriétés particulières. Le sultan à qui elles appartenaient en totalité dans l'origine, les a fait diviser en un certain nombre de parts (dix-huit ou vingt-quatre) dont il s'est réservé le plus grand nombre, environ les deux tiers, et dont il a concédé gratuitement les autres à quelques-uns des principaux fonctionnaires de l'empire. Néanmoins le gouvernement turc, ou plutôt les agents du gouvernement

turc, agissant au nom du sultan, se sont toujours conservé la surveillance et la direction supérieure des exploitations. L'administration supérieure des mines, qui dépend du ministère de la monnaie dont est actuellement chargé Hassib-Pacha, est confiée sur les lieux, sous la surveillance de Hamdy-Pacha, gouverneur de la province, résidant ordinairement à Costamboli (Costamon), à un directeur, Mouin-Effendi, résidant à Héraclée et à un sous-directeur, Soliman-bey, résidant sur l'exploitation principale, à Coslou. Quant à l'exploitation, celle des mines principales de Coslou et de quelques autres moins importantes, à Zougouldak, Ballik et Armoudjick, est confiée à des ingénieurs anglais, les MM. Barkley frères, à la solde du gouvernement turc qui les a appelés. Les autres mines sont abandonnées, ou plutôt affermées, toujours sous la surveillance et les conseils de Mouin-Effendi à des mineurs croates qui n'ont le droit de vendre le charbon qu'ils extraient, qu'au gouvernement turc à un prix de 3 piastres le quintal de 55 kilogr., rendu au port d'embarquement le plus proche. Ce prix représente suivant le cours du change 0f,545 à 0f,60 le quintal de 55 kilogr., et 9f,91 à 10f,91 la tonne de 1.000 kilogr.

Mode d'exploitation.

Le mode qui est suivi pour l'exploitation des richesses minérales du bassin d'Héraclée est le même dans toutes les mines; celui que l'on emploie dans les mines de Coslou, qui sont les plus importantes, n'en diffère qu'en ce que les travaux ont plus de développement et que les transports intérieur et extérieur ont été perfectionnés par l'introduction de chemins de fer. Ce mode consiste à attaquer la couche sur son affleurement par une galerie pratiquée entièrement dans le charbon, à laquelle, lorsque la couche n'offre pas une puissance assez considérable, on donne des dimen-

sions suffisantes en hauteur pour qu'elle puisse être parcourue facilement par les ouvriers. Contrairement à toutes les règles d'une bonne exploitation, cette première galerie principale est ordinairement inclinée de dehors en dedans. Pour les couches dont l'inclinaison est faible 10 ou 15 degrés, comme à Coslou, Zougouldak, etc..., elle présente la même inclinaison que la couche ; pour celles qui se rapprochent de la verticale, comme à Armoudjick, la pente de la galerie principale est à peu près nulle, cependant comme elle est percée sans instruments et sans règle, elle est plutôt inclinée vers l'intérieur que vers son entrée.—Cette disposition s'oppose à l'écoulement des eaux de l'intérieur, tandis qu'elle facilite au contraire l'introduction des eaux extérieures qui, s'accumulant peu à peu dans les travaux, y produisent un obstacle, la plupart du temps invincible, à la continuation de l'exploitation, et qui entraîne le plus souvent l'abandon de la mine. Sur cette galerie principale que l'on prolonge ordinairement jusqu'à la rencontre d'une faille ou d'un crain (dérangement dans la couche), on embranche des galeries transversales, à peu près perpendiculaires à la première (au moins à leur origine), généralement inclinées vers celle-ci et que l'on prolonge également jusqu'à ce qu'un obstacle semblable, un nerf un peu puissant ou un dérangement, ait pris la place du charbon. Ces galeries secondaires sont percées à des distances très-variables les unes des autres, sans qu'aucun plan serve de base à la détermination de leur position abandonnée à la volonté et au caprice des mineurs, qui tantôt les établissent suivant une ligne droite, tantôt suivant une ligne sinueuse.

Comme nous l'avons dit plus haut, les galeries principales sont percées avec des hauteurs suffisantes pour qu'un homme puisse y circuler librement ; les galeries

secondaires n'ont que la hauteur que permet de leur donner la puissance de la couche, qui, toutefois, est le plus souvent supérieure à ce qui est nécessaire. A Zougouldak, dans une exploitation affermée à des mineurs croates, nous avons vu une magnifique galerie établie dans une couche de 4 mètres de puissance qu'elle embrassait dans toute sa hauteur, du toit au mur. A Coslou, dans les exploitations dirigées par MM. Barkley, les galeries principales, dans une couche de cette même puissance environ, percées d'abord avec une hauteur de plus de 2 mètres, mais entièrement dans le charbon de manière à ne découvrir ni le toit ni la sole, ont été réduites à moins de 2 mètres et même en quelques points à $1^{m},50$, par la pression des roches encaissantes. Le choix entre ces deux systèmes devra être dicté par la nature et la solidité de ces roches; mais en général le système suivi à Zougouldak, bien qu'il exige des bois plus forts pour le soutenement, nous paraît préférable, les roches du mur des couches offrant en général aux cadres de boisage une base plus ferme et plus stable.

Dans quelques mines ce mode de conduite des travaux souterrains a été légèrement modifié. La couche a été attaquée sur plusieurs points de ses affleurements par des galeries principales dirigées suivant le sens et l'inclinaison de la couche, puis ces diverses galeries ont été mises en communication par des tronçons de galeries transversales établies sans ordre, sans régularité et sans plan. Pour les couches verticales que nous n'avons vues en exploitation que sur un seul point, à Armoudjick, nous n'avons observé que des galeries principales ayant encore fort peu de longueur (ces travaux ne sont commencés que depuis peu de temps). Il deviendra plus tard indispensable, si l'on ne peut atta-

quer ces mêmes couches par des points situés à un niveau inférieur, de percer au sol de ces galeries horizontales des puits ou cheminées suivant la pente de la couche, dans lesquels le travail sera pénible et où il est à craindre que la proportion de charbon gros produit ne soit excessivement minime.

Dans toutes les mines que nous avons visitées les travaux d'exploitation consistent seulement dans des galeries principales ou transversales, percées en plus ou moins grand nombre et en général sans ordre, excepté dans celles de Coslou, où ces galeries sont un peu plus régulièrement espacées.

Les produits extraits se bornent au charbon abattu dans le percement des galeries. Dans aucune mine on n'emploie le travail par gradins droits ou par gradins renversés pour les couches inclinées, ou le travail par piliers plus ou moins espacés et par massifs longs que l'on enlève ensuite par un dépilage ou déhouillement postérieur; les procédés ordinaires de l'exploitation des mines y paraissent complétement ignorés. On comprend quelle énorme quantité de houille une pareille méthode de travail doit laisser dans les mines, et quelle richesse minérale doit se trouver ainsi abandonnée, sans possibilité de la reprendre un jour. Nous devons dire cependant que nous avons vu à Coslou (dans les travaux dirigés par M. Barkley), l'entrée d'une mine complétement exploitée et abandonnée; mais nous n'avons pu nous faire expliquer la méthode qui a été employée pour l'enlèvement de toute la houille, et nous avons lieu de croire que là, comme dans les autres mines, une portion notable du combustible minéral a été laissée dans les travaux abandonnés et perdue pour la consommation.

Étendue des champs d'exploitation.

Nous avons dit plus haut que les galeries d'exploitation, tant principales que transversales étaient ordi-

nairement arrêtées aux obstacles naturels que présente l'allure des couches, tels que failles et dérangements; mais il est d'autres obstacles assez fréquents qui ne permettent pas de les pousser jusqu'à ces limites, ce sont d'une part l'abondance des eaux et d'autre part le défaut d'aérage, mais bien plus souvent la première cause (nous n'avons vu employer qu'à Coslou des moyens d'épuisement et un aérage artificiel); il en résulte nécessairement que l'étendue des champs d'exploitation est fort limitée. Dans les mines de Coslou où les galeries ont été poussées jusqu'au dérangement, et où les exploitations présentent le plus de développement, on peut les évaluer au plus à une surface de 40 à 50.000 mètres carrés, sur une longueur de 200 à 250 mètres, et une largeur au plus égale. A Zougouldak, nous avons vu une galerie principale, établie presque horizontalement par des mineurs croates dans une couche de 4^{m},50 de puissance, donnant de la houille de première qualité, située à mi-côte et entièrement sèche. Cette galerie a été poussée jusqu'à une longueur de 250 mètres environ, où on a rencontré une faille; les galeries transversales qui ont été commencées n'ont encore qu'une faible longueur.

Multiplicité des mines.

Dans les autres mines, les travaux sont loin de présenter cette étendue. Nulle part on n'a cherché à traverser les dérangements, quand on les a rencontrés, pour s'assurer si ce sont de simples accidents locaux, des resserrements de couches, ou des altérations dans la qualité du combustible, desquels il ne résulte aucun changement dans la direction des couches, ou bien si ce sont des failles qui occasionnent un rejet de la couche en la relevant ou l'abaissant, si elle est horizontale, et en la rejetant sur la droite ou sur la gauche si elle est fortement inclinée. Dans l'un et l'autre cas,

il aurait été d'une bonne méthode d'exploitation, de tâcher de reconnaître la nature de ces accidents et de les traverser pour rechercher à une distance plus grande les couches qui, d'après les caractères bien connus de terrains houillers, doivent se retrouver bien réglées dans leur puissance et leur qualité des deux côtés du dérangement. Dans le cas d'un simple dérangement ordinaire, d'un rapprochement des parois de la couche, c'est dans le prolongement du plan des premiers travaux qu'il faut la rechercher; dans le cas d'une faille, c'est en dehors de ce plan; mais il est à remarquer alors que le rejet exerce son influence sur toutes les couches parallèles et l'exerce de la même manière, et que lorsque l'on serait parvenu à retrouver une couche au delà d'un rejet, on serait assuré d'avance que ce même rejet aurait lieu dans le même sens et avec la même intensité sur les autres couches parallèles. Le plus grand vice de ce mode d'exploitation est de multiplier d'une manière déplorable le nombre des ouvertures des mines. Il en résulte que chaque mine, étant complétement indépendante, doit avoir ses galeries de service en bon état d'entretien sans que cela puisse être d'aucun secours pour les mines voisines; que si on veut lui appliquer des moyens d'épuisement et d'aérage, ce dont il est juste de reconnaître que l'on se dispense généralement, les travaux faits dans ce but doivent être renouvelés dans chaque mine, sans qu'il soit possible de les appliquer à des exploitations différentes.

Enfin nous ajouterons que ces mines si nombreuses, ouvertes toutes sur les affleurements des couches et dans les parties les plus accessibles, qu'on laisse ensuite ébouler et écraser, quand on les abandonne en y laissant cependant inexploitée la plus grande partie du charbon

qu'elles renferment, entourent presque de toutes parts les portions de couches laissées au delà des dérangements et les enferment dans un réseau de vieux travaux éboulés, qu'il sera plus tard très-difficile, sinon impossible, de traverser pour arriver à ces portions intactes dont elles rendront ainsi l'exploitation dans l'avenir difficile et coûteuse. Quoique ces mines ne soient pas bien anciennes, leur nombre est déjà très-multiplié ; dans la vallée de Coslou même, où les principales exploitations dirigées par M. Barkley sont établies dans les bas-fonds, les parties supérieures des versants des collines qui l'entourent, sont couvertes de petites exploitations de ce genre, et, si un pareil système d'exploitation était continué encore longtemps, il y aurait à craindre de voir perdre et gaspiller d'une manière fâcheuse et peut-être irréparable pour l'avenir les grandes et précieuses richesses minérales que renferme le bassin houiller.

Abattage de la houille.

Dans la plupart des mines, le charbon est abattu au pic ; nulle part nous n'avons vu employer de coins. Dans quelques mines où le charbon est très-solide, on fait usage de la poudre ; ce sont aussi celles où l'on produit les plus gros blocs. Il n'y a d'ailleurs dans la manière d'abattre le charbon rien de régulier et de conforme aux principes ordinaires qui doivent guider le mineur. Les piqueurs paraissent ignorer complétement le parti qu'on peut tirer d'un nerf ou d'une veine d'argile tendre qui traverse une couche, et ils frappent indistinctement à droite, à gauche ou au milieu du front de taille ; de là une cause qui tend à augmenter d'une manière considérable la proportion de menu que produisent les mines d'Héraclée, quantité déjà bien forte par elle-même, car le charbon naturellement friable dans quelques-unes des mines, notamment dans une

partie de celles de Coslou, est brisé et non abattu par les ouvriers. Nous avons vu dans la belle couche de Zougouldak attaquer le charbon à la poudre ; l'abattage du charbon déjà ébranlé et fendillé par ce moyen, est achevé à l'aide du pic que l'on introduit dans les fentes produites sur le front de la taille. Malgré l'imperfection de ce moyen qui serait avantageusement remplacé par l'emploi de coins en fer, on parvient à obtenir des blocs d'une dimension considérable.

Transport intérieur.

Le transport intérieur du charbon abattu est effectué à dos d'hommes dans toutes les mines, excepté dans les quatre mines principales de la vallée de Coslou. Il se fait au moyen de paniers en écorce d'environ 40 litres de capacité, et contenant par conséquent suivant la qualité du charbon de 30 à 40 kilogrammes de houille. Des enfants ou des jeunes gens de quatorze à dix-huit ans viennent les charger au front du chantier et les portent ensuite jusqu'au dépôt sur la halde située à l'entrée de la mine. Aucun moyen d'éclairage n'est donné aux manœuvres employés à ce transport ; quelques rares chandelles, fixées contre les parois des galeries, sont disséminées sur le chemin qu'ils parcourent ; de là un retard considérable dans la circulation, que dans quelques mines l'état de la sole qui n'est nullement entretenue rend fort difficile. Le gonflement de cette sole sous la pression du terrain supérieur, dans certaines mines exploitées par les Croates, a réduit à moins de 1 mètre la hauteur des galeries établies primitivement sur des dimensions plus considérables et c'est dans ces étroits boyaux que des enfants de douze ans sont obligés de circuler avec une charge de 35 kilogrammes et d'un volume de 40 litres sur le dos.

Dans les mines de Coslou, des chemins de fer d'une pose facile et à voie étroite, ont été placés dans la plu-

part des galeries. La transport du charbon abattu s'y fait dans de petits wagons de 500 à 600 litres (environ un demi-mètre cube de capacité), qui sont ordinairement traînés par deux hommes dans les portions de galeries voisines de l'horizontale ; quand on rencontre des parties ayant une pente assez forte et notamment pour franchir le plan incliné que présente la galerie principale à son entrée, on est obligé d'ajouter un homme qui pousse le wagon par derrière ou d'atteler un cheval conduit par un enfant. Le charbon contenu dans ces petits wagons est versé sur les haldes à l'entrée des mines, après avoir passé sur des cribles inclinés qui en séparent le menu. On charge ensuite sur ces lieux de dépôt des wagons plus grands qui transportent la houille jusqu'au lieu d'embarquement. Cette partie des travaux de l'exploitation à Coslou est celle qui nous a paru la mieux entendue ; et si l'on donnait plus de soin à l'établissement régulier des grandes voies de roulage intérieur, elle ne présenterait aucun changement notable à faire.

Travail produit par les ouvriers.

Les ouvriers mineurs proprement dits, employés dans les mines du bassin d'Héraclée, ceux qui travaillent au percement des galeries et à l'abattage du charbon, sont en général des Croates, sauf quelques mineurs anglais dont le nombre déjà très-restreint dans l'origine des travaux, a été encore réduit soit par les maladies, soit par le retour de quelques-uns en Angleterre. Ceux-ci ont pu servir d'instructeurs aux autres ; mais malgré leur exemple, le travail produit par les Croates est bien inférieur à celui qui est obtenu des ouvriers européens dans les mines françaises, anglaises ou belges. Pour évaluer ce travail, nous avons dû nous contenter des renseignements qui nous ont été fournis sur les lieux mêmes, renseignements sans doute ap-

proximatifs et sur l'exactitude rigoureuse desquels on ne peut compter.

A Coslou, dans des couches peu inclinées, de $2^m,50$ à 4 mètres de puissance, donnant du bon charbon, mais un peu friable, les MM. Barkley évaluent à 80 tonnes par jour le produit de 200 ouvriers sur lesquels on peut compter 45 à 50 piqueurs, ce qui ferait environ 2 tonnes pour le produit journalier d'un piqueur. Ce produit paraît un peu exagéré, si on le compare à l'extraction totale annuelle qui a atteint seulement 290.000 quintaux turcs, soit 15.000 tonnes, correspondant seulement à 42 ou 45 tonnes par jour, soit une tonne environ par piqueur.

A Zougouldak où la houille est meilleure et aussi plus dure, 18 piqueurs desservis par 75 à 80 manœuvres, produisent dans une couche horizontale de $4^m,30$ de puissance, environ 200 quintaux turcs par jour, soit 11.000 kilogrammes ou par mineur $0^t,610$.

D'après les renseignements fournis par Mouin-Effendi, directeur des mines, on compte en général que chaque piqueur abat 25 quintaux par jour dans une couche de plus de $1^m,50$ de puissance, ce qui fait 1,375 kilogrammes ou $1^t,375$. Le premier chiffre, celui qui nous a été fourni par MM. Barkley pour les mines de Coslou, est dans notre opinion évidemment exagéré ; mais d'un autre côté, en réfléchissant à l'irrégularité du travail des ouvriers, souvent rebutés et éloignés des travaux par l'absence des salaires qu'on leur fait très-longtemps attendre, notre évaluation réduite à une tonne en prenant pour base la production annuelle, pourra paraître un peu faible. En résumé nous pensons que le produit du travail des mineurs doit être évalué en moyenne à une tonne et quart par jour. La comparaison de ce travail avec les résultats obtenus dans quelques mines de

l'Europe, pourra se faire naturellement par la citation de quelques chiffres extraits du tableau général des produits des ouvriers dans les diverses mines exploitées, tableau donné par M. Ponson, dans son ouvrage récent sur l'exploitation des mines de houille.

	Puissances.		En galerie.	En dépilage.
	mèt.		t. t.	t. t.
A Charleroi, dans une couche de	0,90	un ouvrier abat	2,50 à 3,25	»
A Saint-Etienne, *id.*	1,25	. . . *Id.*	3,00 à 3,15	5,65
Au Creusot, *id.*	10,00	. . . *Id.*	2,75	»
En Allemagne, *id.*	1,50 à 1,60	. . . *Id.*	2,00 à 3,25	3,75 à 6,50
A Newcastle.	2,00	. . . *Id.*	»	6,50

La simple inspection de ces chiffres fait voir la grande infériorité du produit actuel des mines d'Héraclée comparée à leur produit possible, si l'on y appliquait de bonnes méthodes de dépilage, et celle du travail des mineurs comparée à celui qu'on pourrait en obtenir s'ils étaient mieux dirigés. Elle suffit pour qu'on puisse se rendre compte de l'augmentation que pourrait éprouver la production des mines par la seule introduction de bonnes méthodes de travail manuel enseignées aux ouvriers mineurs, et d'un bon système d'exploitation basé sur la division des couches en massifs ou piliers réguliers et l'enlèvement de ces piliers par un dépilage bien entendu.

Épuisement.

Ce que nous avons dit jusqu'à présent de la méthode d'exploitation du bassin d'Héraclée et surtout de la multiplicité des ouvertures, a dû faire comprendre avec quelle facilité les mines doivent être inondées dans un pays où l'hiver est très-pluvieux, et de quelle importance serait l'emploi de bons moyens d'épuisement. Cependant, excepté à Coslou, il est complétement négligé : l'abondance des eaux est, ainsi que

nous l'avons déjà dit, un des obstacles les plus fréquents qui s'opposent au développement de travaux souterrains et qui forcent à abandonner une mine aussitôt qu'elle est inondée, en attaquant la couche par une galerie voisine de celle que l'on abandonne.

A Coslou, l'épuisement a lieu au moyen de pompes à bras, à cylindres en fonte, qui, à l'aide d'une colonne de tuyaux formés d'arbres creux réunis par des joints fort imparfaits, déversent les eaux dans des wagons semblables à ceux qui servent au transport intérieur de la houille, wagons généralement mal construits pour servir de réservoirs d'eau, en sorte qu'en arrivant à l'extérieur, plus du quart de la quantité d'eau qu'ils pourraient contenir s'est écoulée par les joints ou a été rejetée en dehors par suite des chocs nombreux qu'ils éprouvent en roulant sur un chemin tourmenté et inégal.

Les nombreuses forêts qui couvrent le pays et qui fournissent de belles pièces de bois rendraient très-facile un boisage bien entendu; cette partie des travaux nous a paru en général bien soignée, et péchant plutôt par excès que par défaut; mais nous avons remarqué que dans la plupart des mines, surtout dans celles où les galeries sont entièrement creusées dans le charbon, les cadres, quoique en nombre plus grand qu'il ne serait nécessaire, présentent une résistance insuffisante, n'étant composés que de trois pièces, deux montants et un chapeau. Il serait indispensable, pour résister à la pression de la sole, de faire reposer les montants sur de fortes semelles, ou même de les réunir par une forte traverse recevant les deux montants à la fois. Cette précaution serait surtout nécessaire dans les galeries principales, dont quelques-unes qui avaient primitivement au moins 2 mètres de hauteur, Boisage.

sont réduites à $0^m,80$ et même $0^m,60$, et menacent de se fermer complétement.

Éclairage et aérage.

Le seul moyen d'éclairage employé dans les mines d'Héraclée, est la chandelle. Le gaz (grisou) ne s'est encore rencontré que dans une seule des mines de Coslou, et ne s'y est pas produit en quantité assez considérable pour nécessiter l'emploi des lampes de sûreté. Les ouvriers portent leur chandelle à la main après avoir enveloppé l'extrémité inférieure d'argile grasse qui leur sert à la tenir quand ils marchent, et à la fixer contre les parois de la galerie quand ils veulent travailler. Ces chandelles, assez mal faites du reste, éclairent fort mal, et comme l'air est assez rare, le coton de la mèche imparfaitement brûlé ne donne qu'une flamme très-courte, peu éclairante et une lumière insuffisante pour assurer un travail convenable et une circulation facile.

On ne s'est préoccupé des moyens artificiels d'assurer l'aérage que dans celle des mines de Coslou où l'on a rencontré le grisou, dans les autres on se contente de l'aérage naturel, produit par les différences de niveau que présentent les travaux souterrains, aérage d'ailleurs bien suffisant à cause de la faible étendue de ces travaux. Dans la mine de Coslou, on a construit un foyer d'appel qui aspire fortement l'air dont la circulation, sur différents chantiers, est réglée par des portes tenues ordinairement fermées. La quantité d'air, introduite ainsi forcément dans la mine, est assez grande, et sa vitesse assez considérable pour entraîner le gaz qui sort de la houille, et pour permettre le travail à la chandelle, tant que l'exploitation ne prendra pas un développemement plus considérable.

Toute la houille extraite des mines du bassin houiller, est amenée au bord de la mer où elle est embar-

quée sur des navires qui la transportent à l'entrepôt général d'Héraclée ou à Constantinople. Depuis l'arrivée des flottes alliées, de nouveaux entrepôts ont été formés dans le Bosphore, à Thérapia vis-à-vis du mouillage de Beïcos, et à Beïcos même. Pour les mines de Coslou, ce transport extérieur s'effectue dans des wagons contenant 1 tonne (1.000 kilog.), et roulant sur un chemin de fer d'environ 2,500 mètres de longueur, communiquant avec chacune des haldes des quatre mines principales de la vallée. Ce chemin s'avance d'environ 50 mètres en mer dans la baie qui se trouve au débouché de la vallée, et en s'appuyant au petit promontoire qui en forme l'un des côtés, jusqu'à un point où la profondeur de l'eau est suffisante pour permettre l'approche aux grandes barques, dans lesquelles les wagons déversent directement la houille, qui est ensuite transbordée sur les bâtiments qui la transportent à destination. Ces wagons sont tirés sur le chemin de fer par des chevaux qui en traînent deux ou trois au plus et qui font de cinq à six voyages par jour. Dix-huit wagons sont employés à ce service et pourraient, s'ils étaient continuellement en activité, transporter journellement 180 à 200 tonnes.

Pour les autres mines, le transport au point d'embarquement se fait à dos de mulet ou de cheval dont la charge dépasse quelquefois 100 kilogr., malgré le mauvais état, nous dirons même l'absence à peu près complète de chemins, car ceux-ci se bornent le plus souvent à de mauvais sentiers à peine tracés au milieu des bois épais qui couvrent le pays, et qui sont signalés tout au plus par l'abattage de quelques arbres sur la ligne qu'ils parcourent. La houille ainsi transportée est déposée au bord de la mer, où on en forme un entrepôt provisoire qui permet d'attendre l'arrivée

de bâtiments sur lesquels on la charge, et une saison assez favorable pour rendre l'embarquement possible.

Les points d'embarquement sont situés à l'embouchure des vallées dans lesquelles les mines ont été ouvertes. Pour quelques-unes, Coslou, Zougouldak et Kilimli, cette vallée débouche dans une baie assez large et assez profonde pour que les bâtiments d'un assez fort tonnage puissent y mouiller, et au fond de laquelle se trouve une plage assez vaste pour permettre l'établissement d'un dépôt considérable, et pour rendre l'embarquement facile et commode dans les beaux temps. A Oksuné, il y a aussi une petite baie assez facilement accessible, mais sur tous les autres points les vallées débouchent à la mer Noire dans de petites criques formant à peine une dépression sensible sur la ligne générale de la côte, entièrement ouvertes aux vents du Nord, bordées de tous côtés, même à leur fond, de falaises escarpées de 10 à 15 mètres de hauteur, au sommet desquelles on rencontre à peine un petit plateau horizontal pour y établir l'entrepôt de charbon, ce qui doit rendre l'embarquement très-difficile dans les beaux temps, et impossible dès que le vent s'élève et que la mer grossit sensiblement.

Au reste le fait suivant, dont nous avons été témoins, pourra donner une idée de l'incertitude des moyens d'embarquement dont on peut disposer, et des conditions précaires auxquelles cette opération est soumise sur tous les points de la côte : le 14 juillet, dans la meilleure saison de l'année, pendant que nous visitions les mines de Coslou, de Zougouldak et des groupes voisins, le bateau à vapeur *la Mouette* était mouillé dans la baie, et son embarcation échouée sur la plage nous attendait pour nous ramener à bord; à cinq heures du soir le temps était beau et l'embarque-

ment possible, mais tout d'un coup, pendant que nous prenions quelques renseignements auprès de MM. Barkley et du directeur des mines, il s'éleva un vent un peu frais, la mer commença à briser sur la plage où l'embarcation ne put plus tenir sans danger, et en moins d'une demi-heure elle brisait avec tant de violence que l'embarquement nous fut impossible, l'embarcation ne pouvant approcher à plus de 100 mètres du rivage. Ce ne fut que le lendemain matin que nous pûmes profiter d'un moment de calme pour retourner à bord et nous rendre ensuite à Amasrah.

On voit d'après cela que, pour arriver à accroître l'extraction et la consommation des produits des mines d'Héraclée, de manière à les mettre en rapport avec l'importance du bassin qui les renferme, il ne suffirait pas de perfectionner et de développer les travaux d'exploitation. La question à résoudre est plus compliquée; elle se lie intimement au perfectionnement, nous allions presque dire à la création de moyens de communication soit terrestres soit maritimes, qui devront former le but incessant de l'attention et des efforts des exploitants futurs. Il est difficile de faire une évaluation complète des produits des mines d'Héraclée dans la situation actuelle des choses. Les renseignements fournis par les employés turcs de la direction des mines ne peuvent être considérés que comme approximatifs : d'un autre côté, l'on ne peut prendre pour base de cette évaluation le nombre des ouvriers mineurs qui n'est pas par lui-même exactement connu, et dont le travail ne présente d'ailleurs aucune constance; car le payement n'étant point fait d'une manière exacte et régulière, il arrive bien souvent qu'ils désertent les mines pendant un certain temps.

Le directeur des mines, Mouin-Effendi, évalue la production annuelle totale des mines à 800.000 ou 1.000,000 de quintaux du pays, soit à environ 50,000 tonnes. Dans cette quantité, le produit des mines de Coslou entre pour un tiers; M. Barkley l'évalue à 75 tonnes par jour, soit 2.500 tonnes par mois et 30.000 tonnes par an ; mais le directeur de mines nous a appris qu'ils n'avaient jamais pu atteindre le chiffre de 400.000 quintaux turcs (22.000 tonnes), qu'ils s'étaient engagés à fournir dans leur contrat; et qu'ils n'étaient arrivés à produire que 300.000 quintaux soit 16.500 tonnes.

En prenant pour base le nombre des ouvriers employés, on arrive à peu près aux mêmes résultats. Ce nombre est moyennement de 500. Chaque mineur étant desservi par deux ou quatre manœuvres suivant l'importance de son abatage et la distance à laquelle le chantier se trouve de l'entrée de la mine, on peut compter en moyenne trois manœuvres pour un piqueur et évaluer la production journalière à 500/4 ou 125 fois le produit du travail d'un piqueur que nous avons dit plus haut être de 1t,25, c'est-à-dire pour toutes les mines à 156t,25 ; en supposant 300 jours de travail on arrive à un chiffre total annuel de 46.000 tonnes, qui doit être certainement peu éloigné de la vérité.

A Coslou MM. Barkley pensent que le produit de leur mine pourrait être doublé, si les fonds nécessaires pour perfectionner ce qui existe et ouvrir d'autres mines, étaient mis à leur disposition. D'un autre côté l'opinion du directeur des mines est que la production totale du bassin pourrait être augmentée de moitié et portée à 75.000 tonnes avec des fonds suffisants, et l'amélioration des communications et des moyens de transport. Nous nous rangeons volontiers à cette opinion, d'autant

mieux que nous avons reconnu dans l'examen des mines que nous avons visitées, qu'il serait possible de placer un plus grand nombre d'ouvriers sur plusieurs points, dans les travaux, tels qu'ils sont organisés. D'un autre côté, l'irrégularité et quelquefois même l'absence très-longtemps prolongée du payement du salaire des ouvriers est un vice radical des exploitations actuelles du bassin d'Héraclée, qu'il suffit de signaler pour en faire sentir toute la gravité, et dans notre pensée la mesure qui le ferait disparaître en assurant le payement des salaires à des époques fixes et régulières aurait immédiatement pour effet d'augmenter le chiffre de la production en permettant de compter sur un travail meilleur et plus soutenu de la part des ouvriers.

Nous avons donné plus haut le tableau des approvisionnements en charbon existant sur les divers entrepôts des mines soit en avril, soit en juin derniers. Au 15 juillet il y avait aux entrepôts d'Héraclée 130.000 quintaux turcs, et S.-E. Hamdy-Pacha, gouverneur de la province résidant à Costamboli, qui s'était rendu à Héraclée pour activer les exploitations, nous a assuré qu'il avait pris des mesures pour que, avant la fin de la saison, cette quantité fût portée à 200.000 quintaux turcs, soit 11.000 tonnes.

Ces ressources jointes à la production actuelle, avec l'accroissement facile dont elle est susceptible, sont certainement considérables au point de vue des débouchés qui se bornent à l'alimentation de la marine à vapeur turque, aux besoins des fonderies impériales, et à ceux de quelques fabriques du pays; mais elles seraient bien insuffisantes si les mines d'Héraclée devaient suffire aux besoins des flottes alliées qui comptent environ 10.000 chevaux vapeur et exigent pour un

service journalier de douze heures, 500 tonnes, environ 180.000 tonnes par an (1). Dans ce cas la production des mines devrait être portée à 250.000 tonnes, et ce n'est pas avec les moyens actuels, ce n'est pas surtout en employant les procédés d'exploitation suivis jusqu'à présent, qu'on peut espérer d'atteindre ce chiffre. Peut-être en augmentant considérablement le nombre des ouvriers et celui des mines pourrait-on momentanément y arriver, mais le résultat qu'on atteindrait ainsi le plus certainement, serait la perte et la ruine totale du bassin houiller pour l'avenir.

Une exploitation large, rationnelle et bien entendue basée sur les méthodes employées en Europe pour la direction de travaux souterrains, peut seule amener la production des mines d'Héraclée au chiffre élevé que les circonstances réclament, et assurer à cette production une longue durée, tout en ménageant la conservation et la possibilité future de l'exploitation des richesses souterraines qui ne seraient pas pour le moment utilisées.

Moyens de développer l'exploitation et d'étendre la production des mines.

Nous avons fait connaître dans ce qui précède l'étendue du bassin houiller d'Héraclée, et dans la description que nous avons donnée, on a pu reconnaître que le vice principal de l'exploitation est la multiplicité et le faible développement des mines, l'isolement et l'indépendance des travaux de chacune d'elles. Pour

(1) Nous avons dit plus haut que le charbon extrait par les fermiers croates était en entier acheté par le gouvernement turc au prix de 3 piastres le quintal (0f,60 les 50 kilog) rendu au point d'embarquement. Le prix de vente à Coslou est double soit 24 francs la tonne ; à Héraclée, il s'élève à 28 ou 30 francs.

remédier à cet inconvénient, il faut donner à ces derniers un plus grand développement et leur imprimer une direction plus intelligente, et basée sur l'exploitation d'un champ plus étendu. Dans un pays comme la France, où il existe une bonne législation, sérieusement appliquée, ce résultat pourrait être atteint par l'établissement de plusieurs grandes concessions, que l'étendue du bassin houiller permettrait d'établir, et auxquelles la configuration du sol indiquerait naturellement de donner pour limites les rivières ou les cours d'eau qui, descendant de la chaîne située au S. du bassin, se rendent sur la côte de la Mer-Noire dans une direction presque perpendiculaire. Mais en Asie où rien de pareil n'existe, où aucune loi, du moins à notre connaissance, n'a été faite pour réglementer l'exploitation des mines, nous pensons que pour arriver à ce résultat il est indispensable que toutes les exploitations du bassin soient placées sous une direction unique, puissante et pouvant disposer de tous les moyens propres à assurer l'exécution des travaux tant souterrains qu'extérieurs, reconnus utiles au développement des exploitations et à l'écoulement de leurs produits. Cette opinion est confirmée par la configuration particulière du bassin qui obligera très-certainement à exécuter des voies de communication extérieures, et par la nécessité de les tracer au point de vue de l'intérêt général, de toutes les mines, et non au point de vue restreint de l'avantage qui pourrait en résulter pour telle ou telle exploitation.

Envoyés sur les lieux, non-seulement pour donner au gouvernement de l'empereur des renseignements certains sur les ressources que peut présenter le bassin d'Héraclée; mais encore pour donner, s'il est possible, d'utiles conseils au gouvernement turc pour l'exploi-

tation future des richesses minérales qu'il possède, nous croyons avoir rempli la première partie de cette mission dans ce qui précède, et nous pensons qu'on ne trouvera pas inutile que nous fassions connaître ici notre opinion sur la direction à imprimer à ces travaux futurs.

D'après ce que nous avons pu observer pendant notre séjour sur les lieux, et ainsi que nous l'avons déjà dit, les exploitations les plus avancées et les plus étendues n'ont pas été établies sur les points qui présentent le meilleur charbon. Le point principal de Coslou a été choisi à cause des facilités que présente, pour l'embarquement, la petite baie dans laquelle débouche la vallée; mais à Armoudjick, qui a été attaqué récemment, nous avons reconnu des couches aussi puissantes que celles de Coslou, et donnant du charbon d'une qualité au moins aussi bonne. A Zougouldak où on exploite une fort belle couche de $4^m,50$ de puissance et d'excellente houille, les travaux sont bien moins étendus qu'à Coslou. A Ballik surtout, où existe une couche très-puissante d'un charbon de très-bonne qualité, les tronçons de galeries pratiqués par les Croates n'existent qu'à la partie tout à fait supérieure de la couche, et la partie au niveau du vallon fort étroit, formé par les montagnes qui la renferment, a été jusqu'à ce moment peu travaillée; ce qui est sans doute dû à l'éloignement de ce point de la mer.

Par ces motifs nous pensons que c'est à Armoudjick, Ballik et Zougouldak que de nouvelles exploitations étendues devraient être établies. Le point de Zougouldak nous paraîtrait admirablement situé pour en faire le centre général des exploitations. La vallée en est plus large et paraît offrir moins de pente que celle de Coslou. L'établissement de voies de transport perfec-

tionnées y serait facile, et la bifurcation qui existe au-dessous des mines exploitées actuellement permettrait de diriger un embranchement vers les exploitations de Ballik. La baie de Zougouldak est plus vaste que celle de Coslou, elle paraît offrir un mouillage tout aussi bon, et déjà elle avait été indiquée à M. le colonel Jourjon par le directeur des mines comme étant tout autrement sûre, et d'un accès plus praticable pour les embarcations. De nouvelles attaques pourraient en même temps être dirigées sur les couches de Djattal-Aghazy, à l'extrémité orientale du bassin, point que nous n'avons pu visiter, mais qu'on nous a indiqué comme étant encore peu exploité et cependant très-riche en combustible minéral.

Les couches reconnues sur les divers points que nous venons de citer présentent des différences notables dans leur allure. Leur puissance varie de 3^m à $4^m,50$, mais les unes sont presque horizontales et n'ont qu'une pente de 10 à 15 au plus, tandis que les autres sont fortement inclinées et quelques-unes même, comme celles d'Armoudjick, sont presque complétement verticales. Les systèmes d'exploitation à employer dans ces deux cas devront être par cela même complétement différents.

Exploitation des couches horizontales.

Dans la couche de $4^m,50$ de puissance et presque horizontale exploitée à Zougouldak, les Croates ont déjà exécuté une galerie principale de 2^m à 3^m de largeur, prenant toute la hauteur de la couche, et poussée sur une longueur de 200 mètres environ, jusqu'à une faille où elle a été arrêtée. En nivelant convenablement cette galerie, en lui donnant une faible pente d'environ 1 p. 100 vers l'entrée, pour faciliter l'écoulement des eaux de l'intérieur, la boisant solidement et complétant, s'il était nécessaire, les cadres de boisage par une

forte semelle qui recevrait les deux montants, elle deviendrait la galerie principale de roulage dans laquelle pourraient circuler sur un chemin de fer, de grands wagons de $0^{m},800$ à un mètre cube de capacité, traînés par des chevaux, ou des chariots sur lesquels seraient placés de petits wagons qui seraient chargés directement aux chantiers d'exploitation. Sur les deux côtés de la galerie principale, on établirait de grandes galeries de 3 à 4 mètres de largeur prenant toute la hauteur de la couche, distantes les unes des autres de 50 mètres environ et prolongées jusqu'au dérangement le plus voisin. Les grands massifs allongés laissés entre ces galeries seraient ensuite divisés en piliers carrés de 10 à 15 mètres de côté, suivant la poussée plus ou moins grande que l'expérience ferait connaître dans les roches du toit, par le percement de deux systèmes de galeries de 2 mètres seulement de largeur, les unes perpendiculaires, les autres parallèles à la grande galerie de roulage.

Ces premiers travaux que l'on peut appeler de reconnaissance et de préparation, ne devraient point s'arrêter là. Il serait essentiel, pour assurer une circulation facile et commode des hommes et des wagons, ainsi que de l'air, de construire les galeries principales de roulage avec soin et solidité, et par conséquent il sera d'une exploitation bien entendue de chercher à les utiliser le plus longtemps possible. Nous regarderions donc comme indispensable que la galerie principale et quelques-unes des galeries transversales, dans lesquelles il serait possible d'établir le même système pour le roulage, fussent poussées au delà des dérangements auxquels auraient été arrêtés les travaux préparatoires, jusqu'à la rencontre d'une nouvelle portion de couche réglée et puissante dans laquelle les mêmes

travaux seraient établis. Dans notre opinion, et d'après la configuration du sol, ce système de travaux pourrait être poursuivi jusqu'à ce qu'il vînt percer au jour dans une vallée voisine, après avoir traversé le contrefort dans lequel aurait été commencée l'exploitation. Il ne nous paraîtrait même pas difficile qu'en s'aidant d'explorations extérieures et de plans faits avec soin, on pût, dans quelques cas, reconnaître et attaquer la même couche sur les deux versants d'un même contrefort.

Chaque massif reconnu et préparé serait en quelque sorte limité par les dérangements que présentent les couches, son exploitation serait achevée par le dépilage ou enlèvement complet du charbon des piliers, qui pourrait se faire suivant les besoins de la consommation, en même temps que la poursuite des travaux préparatoires, en commençant naturellement par les points les plus éloignés en même temps de l'entrée de la mine et des galeries principales de roulage, qui devraient être maintenues jusqu'au complet épuisement de la mine, en laissant intacte des deux côtés de chacune de ces dernières au moins une rangée de piliers qu'on n'enlèverait qu'en dernier lieu. Il serait important dans un système de travaux pareils, de proportionner les dimensions des piliers, ainsi que nous l'avons dit plus haut, à la pression des terrains et de commencer le dépilage aussitôt que l'on apercevrait que cette pression fatigue les piliers, car elle briserait la houille et donnerait une portion beaucoup plus forte de menu.

Dans les couches puissantes que nous avons vues, dans les bassins d'Héraclée, avec des travaux réguliers exécutés avec soin et bien entretenus, l'épuisement et l'aérage nous paraîtraient faciles. L'écoulement des

eaux provenant des parties de couches supérieures à la galerie de roulage, se ferait naturellement par cette dernière, et pour les parties inférieures, les eaux seraient élevées jusqu'à ce niveau, soit au moyen de pompes placées dans les parties les plus basses des travaux, soit même seulement en les transportant dans des wagons comme l'on fait à Coslou, suivant leur plus ou moins grande abondance.

Quant à l'aérage, il pourrait être assuré soit par l'établissement de conduits plus ou moins vastes qui seraient placés dans la galerie principale, soit, s'il était nécessaire, en creusant par la surface des puits qui viendraient aboutir en des points de cette galerie fixés d'avance, et détermineraient un courant d'air que l'on forcerait, au moyen de portes convenablement disposées, à parcourir tous les chantiers d'exploitation, en l'activant même au besoin par un foyer d'appel établi à l'extrémité inférieure du puits, comme cela est pratiqué à Coslou.

Nous croyons devoir insister sur la nécessité qu'il y aurait de remplacer le mode d'éclairage actuel à la chandelle par l'éclairage à l'huile, au moyen de petites lampes en fer, qu'on remplacerait par des lampes de sûreté dans le cas où l'apparition du gaz grisou en quantité assez grande le ferait juger indispensable.

Exploitation des couches fortement inclinées.

Les couches fortement inclinées se présentent avec des allures et dans des conditions qui ne sont pas les mêmes partout. A Armoudjik les couches de 3 mètres à 4^{m},50 de puissance, d'une inclinaison qui varie de 50° à la verticale, sont renfermées dans des collines entre lesquelles la vallée forme un plateau assez étendu, fond d'un véritable entonnoir, dans lequel se réunissent les eaux qui descendent des collines. A Ballik, au contraire, les couches sont comprises dans des collines élevées

très-rapprochées, entre lesquelles se trouve un vallon profond et très-étroit au fond duquel coule un petit ruisseau. Dans l'un et l'autre cas, les couches pourraient être attaquées immédiatement par une galerie horizontale établie sur l'affleurement au point le plus bas possible, au fond de la vallée. C'est même ce qui a été commencé à Armoudjik. Mais dans un cas, à Ballik, on aurait un massif considérable à enlever plus tard et dont les produits pourraient être extraits par cette galerie inférieure, tandis que dans l'autre cas, à Armoudjik, le massif qui serait dans cette position n'aurait qu'une faible hauteur et ne pourrait suffire à alimenter une exploitation de quelque durée. D'un autre côté, il est indispensable de conserver au-dessus des travaux une masse de charbon imperméable aux eaux, et assez forte pour les préserver de l'inondation des eaux extérieures, et de réserver intacte et dans une position facilement accessible un massif suffisant de houille que l'on pourrait exploiter pour la satisfaction de besoins urgents, ou dans le cas où quelque circonstance fortuite forcerait à ralentir l'activité des travaux. Nous pensons donc qu'il serait plus convenable et même indispensable d'attaquer ces gîtes inclinés immédiatement dans la profondeur, au moyen de puits, pendant qu'on continuerait à poursuivre les galeries d'allongement inférieures, et même qu'on en établirait de nouvelles à des niveaux plus élevés entre lesquelles on laisserait des massifs intacts d'au moins 50 mètres de hauteur.

Les puits devant suffire à l'extraction de la houille, à l'épuisement des eaux, à l'aérage et au passage des ouvriers, présenteraient une section circulaire et devraient être percés sur un diamètre de 3 mètres au moins. Ils seraient entièrement creusés dans les roches du terrain

houiller, le plus souvent dans les grès, rarement dans les schistes argileux. Ils ne nécessiteraient un fort muraillement que dans ces derniers points, mais sur la plus grande partie de leur longueur un simple revêtement en briques serait suffisant. L'emplacement de ces puits serait déterminé par la condition de rencontrer les couches inclinées de 50 à 60° à une profondeur de 100 mètres et pour les couches verticales, ils en seraient placés à une distance de 15 à 20 mètres nécessaire, et suffisante pour assurer leur conservation, malgré les mouvements du terrain auxquels donnerait lieu l'exploitation de la houille.

Les puits seraient mis en communication avec les couches par des galeries à travers banc (ne présentant que la pente nécessaire à l'écoulement des eaux vers les puits, environ 1 pour 100), situées à des différences de niveau que nous conseillerons de fixer à 50 mètres. Dans des circonstances ordinaires, et pour des exploitations naissantes, nous regarderions comme plus convenable d'espacer ces galeries de 100 mètres; mais dans la situation particulière des mines d'Héraclée, avec l'obligation de suffire à une consommation considérable, nous avons cru devoir nous borner à ce chiffre de 50 mètres, afin de pouvoir arriver plutôt à un accroissement de production.

Ces galeries à travers banc devraient servir de galeries de roulage, et aux points où elles rencontreraient la couche, on pratiquerait dans celle-ci des galeries de niveau, solidement boisées, dans lesquelles on continuerait les voies de roulage et qui seraient réunies entre elles par des cheminées pratiquées dans la couche et espacées de 50 en 50 mètres. Nous répéterons ici les observations que nous avons faites en parlant de l'exploitation des couches horizontales. Ces galeries à tra-

vers bancs et de roulage devraient être établies avec soin et par conséquent suffire à une exploitation de longue durée. Les galeries de niveau ne devraient donc point être limitées aux premiers dérangements que l'on rencontrerait, mais devraient, au contraire, les traverser et être prolongées aussi loin que le permettraient certaines circonstances de l'exploitation, telles que la bonté de l'aérage et la facilité des transports intérieurs. Nous n'avons pas besoin de dire que ces transports s'effectueraient sur des voies de fer à l'aide de chariots plats sur lesquels on placerait de petits wagons qu'on chargerait au chantier et qui seraient ainsi transportés au bas du puits par lequel ils seraient extraits. Ce transport intérieur pourrait se faire soit par des hommes soit par des chevaux.

Pendant que ces travaux inférieurs s'exécuteraient, on pousserait activement, comme nous l'avons dit, les galeries de niveau commencées sur les affleurements même des couches au fond des vallées, et au sol de ces galeries, on creuserait des cheminées ayant la pente de la couche, qui auraient le double but de diviser celle-ci en massifs réguliers et en même temps de reconnaître la couche dans la profondeur, tant au point de vue de sa qualité qu'au point de vue de ses allures particulières. Les couches verticales, dans notre opinion, que nous croyons très-suffisamment motivée, ne sont point différentes des couches horizontales. Elles ne sont que le résultat d'un accident dans l'allure de ces dernières, d'un repli qui en change l'inclinaison ; on ne peut donc compter sur leur prolongement indéfini avec cette forte pente, et il serait prudent, avant de prolonger les puits au delà peut-être de la profondeur où cette allure accidentelle retourne à l'horizontale, de s'assurer du point où ce changement a lieu et par cela même de

reconnaître la couche en profondeur par ces cheminées dont nous avons parlé, en même temps qu'on exécuterait le foncement du puits.

Les massifs rectangulaires, plus ou moins réguliers, de 50 mètres de côté, nous paraîtraient pouvoir être enlevés par gradins renversés bien que la puissance des couches, quand elle dépasse 2m,50, soit une difficulté dans l'application d'un pareil système de travail. On pourrait prendre d'abord des gradins ayant seulement la moitié de la puissance de la couche, et abattre ainsi la moitié de l'épaisseur du massif sur toute son étendue, en le remplaçant au fur et à mesure par des remblais que l'on prendrait soit à l'intérieur, soit à l'extérieur. On abattrait ensuite par le même système la seconde moitié du massif laissée en place.

Dans les conditions particulières où se trouvent les couches inclinées d'Amourdjik, Ballik et des autres points du bassin, couches qui peuvent toutes être attaquées par leurs affleurements, les travaux souterrains auraient deux communications avec le jour, une par un puits, l'autre par une galerie de niveau. Cette circonstance faciliterait l'établissement d'un bon aérage pour lequel quelques portes convenablement placées nous paraîtraient suffisantes au moins pour les commencements ; l'application d'un foyer d'appel serait d'ailleurs toujours possible lorsque le développement de travaux tant en profondeur qu'en longueur aurait rendu insuffisant l'aérage naturel.

Quant à l'épuisement, il nécessiterait indispensablement l'établissement de pompes, et par conséquent le secours d'une machine à vapeur. Cependant quelques localités, comme par exemple Ballik, nous ont paru se prêter à l'exécution de galeries d'écoulement qui permettraient de diminuer la hauteur à laquelle les eaux

devraient être élevées. Un plan exact, accompagné de nivellements faits avec soin, pourrait apprendre si des galeries de ce genre peuvent être exécutées avec avantage et sur quels points il faudrait les établir.

L'exploitation à l'aide des puits nécessitera l'emploi de machines d'extraction et de machines d'épuisement. La force des premières peut être déterminée d'une manière assez approximative et il nous paraîtrait convenable de la fixer à 25 chevaux, cette force étant suffisante pour une extraction journalière de 250 tonnes d'une profondeur de 200 mètres, chiffre et profondeur que les mines du bassin d'Héraclée ne paraissent pas devoir dépasser d'ici à longtemps. Quant à l'épuisement, il nous est impossible de rien dire sur la force de la machine qu'il exigerait, mais il nous paraît évident que dans l'origine des travaux la machine d'extraction pourrait suffire en l'employant le jour à l'extraction et la nuit à l'épuisement au moyen des bennes. Si plus tard l'affluence des eaux rendait ce moyen insuffisant, il serait alors possible d'avoir des données exactes sur leur volume et de calculer la force de la machine que nécessiterait leur épuisement.

Dans le court exposé qui précède, nous n'avons pas la prétention d'avoir abordé toutes les difficultés pratiques que l'on pourra rencontrer dans les travaux d'exploitation, et d'avoir indiqué les moyens de les surmonter. Nous n'avons voulu qu'indiquer une méthode générale qui sans doute sera modifiée dans quelques détails et devra être complétée par les leçons de l'expérience, suivant les circonstances et les obstacles qui résulteront de caractères impossibles à prévoir que présenteront les couches dans leur allure.

Mais nous regardons cette méthode comme parfai-

tement applicable dans son ensemble, et la plus convenable à suivre pour obtenir une bonne exploitation. Elle est applicable non-seulement aux couches que nous avions surtout en vue, celles d'Armoudjick, Zougouldak et Ballik, mais encore à toutes celles du bassin, à celles de Djattal-Aghazy et même aux couches horizontales encore inconnues et inférieures au niveau du sol des vallées, s'il en existe comme cela est plus que probable. Dans ce cas, la méthode à suivre ne différerait de celle que nous avons indiquée, qu'en ce que la couche serait attaquée par un puits vertical, au lieu de l'être par une galerie sur l'affleurement, comme pour les couches inclinées; mais les galeries à établir dans la couche au point où elle serait rencontrée, le seraient en suivant la marche que nous avons indiquée plus haut.

Mais il ne suffit pas d'imprimer aux travaux une bonne direction, en adoptant une méthode rationnelle. Il faut encore que cette méthode soit basée sur une parfaite connaissance de l'allure et de la position des couches. Il est donc indispensable, et nous croyons devoir insister sur ce point, que toute l'étendue du bassin houiller soit soumise à une exploration faite avec soin, et dont le principal élément serait un plan général aussi exact que possible, sur lequel seraient rapportées les positions des mines déjà ouvertes et les plans des travaux souterrains de la plupart d'entre elles. Ce plan devrait être accompagné de nivellements exécutés sur les points les plus importants, pour servir, avec l'observation de l'allure particulière de chaque couche, à déterminer les relations et les positions relatives des couches entre elles. Ce travail général serait d'ailleurs indispensable pour un autre but; comme nous l'avons déjà dit ailleurs, la

plupart des mines exploitées ne l'ont été que par les affleurements et sur un champ peu étendu. Ces mines, après leur abandon, enferment dans un cercle de vieux travaux éboulés des richesses considérables auxquelles on doit chercher à arriver, en évitant ces travaux difficiles et quelquefois même impossibles à traverser. Un plan exact pourrait seul indiquer la marche à suivre pour arriver à ce résultat, et faire connaître s'il serait plus court ou plus économique de percer des puits ou d'attaquer les couches par des galeries à travers banc, de manière à arriver à des parties encore intactes. Aussi avons-nous vu avec étonnement qu'aucun plan souterrain n'existe, même sur les mines assez étendues de Coslou.

Enfin nous ajouterons que, pour arriver à une connaissance plus complète des allures des couches et des richesses du bassin, il serait utile de joindre aux travaux que nous avons déjà indiqués, quelques sondages que l'on exécuterait sur les points principaux que nous avons cités dans les vallées d'Armoudjik, Ballik et Zougouldak et que l'on pousserait jusqu'à 80 ou 100 mètres : ils feraient connaître d'une part, jusqu'à quelle profondeur plongent les couches inclinées d'Armoudjik et de Ballik, si elles se replient pour reprendre l'allure horizontale et à quelle profondeur a lieu ce changement d'allure; et, d'autre part, s'il existe d'autres couches horizontales encore inconnues, parallèles et inférieures à la grande couche de Zougouldak.

Les travaux que nous avons indiqués pour arriver à la régularisation des exploitations du bassin d'Héraclée exigeraient nécessairement un temps assez long, et leur exécution présenterait même certaines difficultés tenant à l'obligation de continuer à pourvoir à la con-

sommation actuelle, et même d'alimenter une consommation plus grande jusqu'au moment où tous les travaux auraient atteint leur développement.

La mine de Zougouldak et la puissante couche horizontale que l'on y exploite serait celle qui nous a paru le mieux disposée pour y appliquer facilement et promptement le système de travaux que nous avons indiqué. La galerie principale qui a été établie, et qui présente une longueur d'environ 250 mètres, pourrait être facilement transformée en une magnifique voie de roulage intérieur, par un nivellement qui lui donnerait une légère pente vers l'extérieur pour assurer l'écoulement des eaux, et en consolidant sur quelques points le boisage qui en a d'ailleurs été fait avec soin; sur sa longueur on pourrait facilement trouver à établir de chaque côté huit galeries transversales, que l'on percerait tout en continuant à avancer la galerie principale à travers le dérangement où elle a été arrêtée. Dans l'état actuel des choses, on pourrait facilement y placer un nombre d'ouvriers au moins double de celui qui y est employé, et nous pensons qu'au bout de quelques mois, il serait possible d'en tirer 100 tonnes de houille par jour, et d'augmenter plus tard cette production lorsqu'on aurait réussi à traverser les dérangements qui limitent le massif exploité, et qu'on aurait mis à découvert de nouveaux massifs intacts.

A Ballik, il serait possible d'attaquer immédiatement la couche par plusieurs galeries de niveau, percées sur l'affleurement à partir du fond de la vallée, pendant que l'on foncerait le puits que nous avons indiqué, et l'on pourrait également, au bout de cinq ou six mois, arriver à la même production journalière de 100 tonnes, en attendant que le puits eût été mis en communication avec la couche.

A Armoudjik, les galeries de niveau, percées sur les affleurements, seraient moins nombreuses à cause de la faible hauteur qui existe entre le fond de la vallée et le sommet des collines : il serait donc nécessaire pour pouvoir compter en ce point sur une production un peu forte, d'attendre le moment où le puits aurait atteint une profondeur suffisante et aurait été mis en communication avec les couches, ce qui nécessiterait au moins dix-huit mois ou deux ans. Passé cette époque, on pourrait espérer, avec le développement qui pourrait être donné aux travaux de ces mines, en y joignant ceux qui pourraient être faits d'une manière régulière sur d'autres points, d'atteindre une production suffisante pour les besoins de la consommation qui, ainsi que nous l'avons dit plus haut, s'élèverait, en y comprenant celle des flottes alliées, à 650 tonnes par jour, au minimum, dont 500 pour les bateaux à vapeur des flottes, et 150 pour la consommation actuelle telle que nous l'avons évaluée plus haut.

En attendant cette époque, il serait indispensable de continuer l'exploitation des mines actuelles pour subvenir aux besoins du moment. Les plus grands efforts de l'exploitation devront être naturellement dirigés sur les mines de Coslou, qui présentent les plus grandes étendues de recouches connues, et où l'établissement des voies perfectionnées pour le transport intérieur et extérieur rend l'extraction plus économique. Quant aux autres petites mines elles sont trop multipliées, et nous les connaissons d'ailleurs trop peu pour pouvoir décider quelles sont celles qu'il serait convenable de conserver momentanément, et il faudrait pousser les travaux avec activité : cette question ne pourrait être décidée qu'après une étude attentive des allures des couches, et un examen détaillé des travaux exécutés,

examen qui serait nécessairement basé sur des plans exacts tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, qui serviraient à déterminer la convenance de la mise en communication ou de l'isolement des mines voisines.

Les travaux que nous avons indiqués dans ce qui précède, et qui nous paraissent nécessaires pour obtenir les résultats que l'on se propose d'atteindre, ne sauraient être confiés aux ouvriers mineurs actuellement employés dans les mines d'Héraclée, ces ouvriers ne présentent pas en général les garanties de savoir suffisantes pour la conduite, la consolidation et l'entretien des travaux souterrains. Leur travail et leur production dans le percement des galeries sont bien inférieurs à ceux d'un ouvrier européen; quant au dépilage, il leur est complétement inconnu et ils en ignorent totalement la pratique; et il est évident qu'un pareil travail, qui n'est pas sans difficultés et sans dangers, ne pourrait être confié qu'à des ouvriers exercés, appelés de France, d'Angleterre et d'autres contrées minières.

Avec des couches comme celles que nous avons eu l'occasion d'observer dans les mines que nous avons visitées, on peut admettre qu'un bon ouvrier, travaillant en galerie, dans une journée de travail de dix heures, abattra largemement de 2t,50 à 3 tonnes de houille; à ce taux il suffirait de deux cent cinquante mineurs pour obtenir une extraction journalière de 650 tonnes; chaque ouvrier pouvant occuper de trois à quatre manœuvre, ce serait environ 1,200 ouvriers qu'exigerait l'exploitation des mines.

Pour les manœuvres, on pourrait se contenter des ouvriers du pays, et il est hors de doute que l'on en trouverait facilement le nombre nécessaire. Quant aux mineurs, on ne trouve dans le pays que des Croates. Leur

nombre sur les mines est bien insuffisant. Il paraît cependant qu'il serait facile d'en trouver à Constantinople, mais nous n'avons pas besoin de dire qu'on ne doit pas penser à les employer exclusivement; nous ajouterons même qu'on ne peut s'en servir que sous la direction et avec les exemples de bons mineurs européens. Il serait donc indispensable d'appeler un certain nombre de mineurs de France, d'Angleterre ou de Belgique, et il nous paraîtrait suffisant de fixer ce nombre à une centaine qui seraient accompagnés de dix bons contre-maîtres et boiseurs. Nous ne doutons pas qu'avec leur secours et leurs exemples et sous une bonne direction, les mineurs croates ne se formassent bientôt et n'arrivassent à faire un travail bon et productif. Le bénéfice que l'on retirerait de la présence et du travail des ouvriers européens compenserait largement l'excédant de salaire qu'ils réclameraient, et qu'il serait indispensable et juste de leur accorder.

Moyens de transport; voies de communication.

Il nous reste à dire quelques mots des moyens de transport des charbons qui auraient été extraits en suivant la marche indiquée ci-dessus. La question du transport et des voies de communication, intimement liée à toute question de production pour assurer l'écoulement et les débouchés des objets produits, présente surtout une grande importance dans l'exploitation des bassins houillers où l'objet produit n'ayant qu'une valeur minime sous un grand volume, cette valeur peut être considérablement affectée par l'absence des voies de communication ou par l'état plus ou moins bon de celles qui existent; cette question présente surtout une grande importance pour l'exploitation des mines du bassin d'Héraclée qui, il est vrai, est heureusement situé sur le rivage même de la mer, mais

dans lequel il n'existe aucun chemin, et seulement à peine quelque sentier tracé à travers les forêts pour les besoins des exploitations existantes.

Les moyens de transport actuellement employés et que nous avons fait connaître plus haut, sont essentiellement précaires : la possibilité de l'embarquement y est soumise aux caprices du temps assez généralement variable, même dans la belle saison ; la nature même de la côte et la situation particulière du bassin houiller ne permettent pas de songer à améliorer une des baies voisines du centre du bassin, pour y assurer l'embarquement au moins pendant la majeure partie de l'année, et en faire le centre principal de l'exploitation ; car il y aurait en outre à mettre ce point en communication avec les différentes mines exploitées au moyen de voies terrestres.

Le seul port qui offre un mouillage à peu près sûr en tout temps, est celui d'Héraclée qui nous paraît, à cause de cela même et de sa position voisine du bassin houillier, devoir continuer à servir de lieu d'entrepôt de charbon. Il serait facile d'y exécuter quelques travaux pour le rendre encore plus sûr et d'ajouter à la batterie qui existe à son entrée d'autres ouvrages, qui protégeraient suffisamment les navires qui viendraient y chercher un chargement.

La communication entre Héraclée et les différentes mines peut être assurée de deux manières, soit par la continuation de l'emploi des moyens actuels, c'est-à-dire par la voie de mer, soit par la voie terrestre, consistant dans l'établissement d'une bonne route ou d'un chemin de fer. Dans l'un et l'autre cas, il serait indispensable d'exécuter immédiatement des voies de communication pour rendre plus facile et plus rapide le transport des houilles jusqu'au point d'embarquement, car

même en admettant que l'on donnât la préférence à l'une des voies de terre, il faudrait nécessairement que, jusqu'à ce qu'elle fût exécutée, on continuât à employer la voie de mer. Pour les mines de Zougouldak et de Ballik, ces voies de communication devraient être un chemin fer que la configuration du terrain permettrait d'établir sans grandes difficultés dans la vallée de Zougouldak, et qui la remonterait depuis le bord de la mer, en se bifurquant à environ 1 kilomètre de distance, pour se diriger d'une part vers les mines de Zougouldak et de l'autre vers celles de Ballik. La longueur de ce chemin de fer serait d'environ 7,500 mètres. Pour les mines d'Armoudjik, le terrain nous paraît offrir plus de difficultés à l'établissement d'un chemin de fer, et nous regarderions comme suffisante l'exécution d'une bonne route de terre qui aurait 3,500 à 4,000 mètres de longueur, et qui viendrait aboutir à la plage située au fond de la baie de Kissé-Aghazy, qui nous a paru offrir un mouillage et un port d'embarquement bien préférables à ceux qui ont déjà été désignés sur un point plus rapproché des mines, mais où la côte est bordée de falaises escarpées. Chacun de ces chemins serait terminé par des estacades solidement établies, qui s'avanceraient à une assez grande distance en mer pour en permettre l'acostage à des chalands de fortes dimensions, dans lesquels les wagons ou voitures verseraient directemont le charbon.

L'un des éléments les plus essentiels de la détermination du choix à faire entre ces diverses voies d'exportation, soit terrestres soit marines, doit être évidemment l'appréciation des difficultés plus ou moins grandes que présenterait l'exécution des premières et de la dépense qu'elle entraînerait; il serait donc indispensable que, pendant qu'on exécuterait les petits chemins

que nous venons d'énumérer, on se livrât à des études topographiques détaillées, ayant pour but de reconnaître la possibilité d'exécution d'une voie de communication terrestre parallèle à la côte, route ordinaire ou chemin de fer entre la vallée de Zougouldak et le port d'Héraclée, les obstacles qu'elle présenterait, et l'évaluation des dépenses auxquelles elle pourrait donner lieu.

Transport par voie maritime.

Dans tous les cas, ainsi que nous l'avons dit, la continuation de l'exportation par la voie maritime serait une conséquence forcée des nécessités de la situation. Cette exportation devrait être naturellement mise en rapport avec l'accroissement de la production, et il nous paraît utile d'indiquer les nouvelles conditions dans lesquelles elle devrait avoir lieu.

Nous avons évalué plus haut la production annuelle des mines du bassin à 250,000 tonnes, dans l'hypothèse où elle devrait suffire aux besoins actuels et à l'alimentation des flottes alliées. Le transport de cette quantité de houille jusqu'au port d'Héraclée, destiné à servir d'entrepôt, devrait se faire complétement pendant la belle saison qui permet seule l'embarquement dans les baies de Coslou, Zougouldak, etc..., durer de trois à quatre mois au plus, et par conséquent s'effectuer en cent jours. Ce serait donc une quantité de 2,500 tonnes qu'il y aurait à transporter journellement du centre du bassin à Héraclée, c'est-à-dire sur une distance moyenne de 35 kilomètres.

Ce transport pourrait être effectué au moyen de navires de 300 tonneaux, qui n'exigeraient qu'un faible tirant d'eau, de manière à approcher assez de la côte pour pouvoir être chargés avec des chalands ou mahonnes (grandes chaloupes en usage dans le pays), de la contenance de 20 tonneaux environ, qui seraient eux-

mêmes chargés directement à l'estacade. Le temps de chargement par ce moyen, du voyage à Héraclée et retour, avec l'aide d'un remorquage à vapeur, et du déchargement à Héraclée, peut être évalué à quatre jours, dont un jour et demi pour le chargement, deux jours pour le déchargement et une demi-journée pour le voyage aller et retour. Il faudrait donc charger journellement aux points d'embarquement de la houille huit navires de 300 tonnaux, pouvant prendre ensemble 2,400 tonnes et pouvoir remplacer ces navires pendant les quatre jours que durerait leur voyage, par conséquent consacrer au transport général au moins trente-deux navires de cette force.

D'après les renseignements que nous avons pu nous procurer, le prix du transport ainsi organisé pourrait être évalué de la manière suivante :

4 jours de location d'une mahonne à 10 fr. par jour.	40 fr.
6 hommes pendant 1 jour 1/2 à 24 fr.	36
6 hommes pour le déchargement pendant deux jours à 12 fr. par jour.	24
0f,03 de fret par tonne et par kilomètre, soit pour 35 kilomètres 1f,05 par tonne et 315 fr. pour les 300 tonnes.	315
Total.	415 fr.

Ce qui fait revenir le chargement, transport et déchargement d'une tonne de houille à 1f,383, que nous pouvons porter au maximum à 1f,50 pour tenir compte des frais de remorquage à vapeur.

Pour mettre à exécution ce système de transport en rapport avec l'importance probable de la consommation, il faudrait, au moment de la belle saison, noliser un certain nombre de chalands ou mahonnes et de navires de commerce que l'on trouverait facilement soit

dans la marine du pays, soit dans celle des nations amies qui entretiennent avec lui des relations commerciales. Quant aux remorqueurs à vapeur, il suffirait d'en avoir six pour assurer le service ; ce seraient de petits bateaux de la force de 150 à 160 chevaux, semblables aux remorqueurs du Bosphore ; on pourrait également les emprunter à la marine marchande, mais il nous paraîtrait plus convenable qu'ils fussent la propriété de la compagnie ou du gouvernement qui se chargera de l'exploitation.

Chemin de fer. Route.

Un chemin de fer qui relierait le centre des exploitations Zougouldak et Ballik avec le port d'Héraclée, aurait une longueur d'environ 50 kilomètres. La dépense à laquelle donnerait lieu son exécution ne pourrait être déterminée d'une manière rigoureuse, qu'après des études détaillées du terrain et la rédaction d'un projet consciencieux. On peut prévoir d'avance que la nature accidentée du pays présenterait quelques obstacles, mais qui ne seraient pas insurmontables et de ceux que l'art de l'ingénieur donne les moyens de vaincre sans de grandes difficultés.

Nous pensons qu'on peut évaluer en moyenne les dépenses d'exécution d'un pareil chemin à 100.000 francs par kilomètre, soit pour les 50 kilomètres à 5.000.000 ; sa destination, qui serait uniquement le transport des houilles, n'exigeant pas le transport à grande vitesse et permettant de le tracer avec des pentes assez fortes et des courbes d'un petit rayon, les frais de traction sur ce chemin pourraient être évalués à 0f,10 par tonne et par kilomètre, environ deux fois et demie autant qu'en France, à cause du prix élevé de toutes les matières premières dans le pays, de la difficulté et de la cherté de réparation des machines, et enfin du salaire élevé que

réclameraient nécessairement les ouvriers spéciaux, mécaniciens, chauffeurs, etc. La traction d'une tonne entre les mines et Héraclée coûterait donc 5 francs, et en ajoutant à ce chiffre la proportion convenable de l'intérêt du capital engagé dans le chemin de fer (5.000.000 de francs) qui à 10 p. 100 est de 500.000 fr. pour 250.000 tonnes ou 2 francs par tonne, on trouve que le transport des mines à Héraclée coûterait définitivement 7 francs par tonne.

Une route ordinaire macadamisée aurait la même longueur que le chemin de fer, mais coûterait beaucoup moins. On peut évaluer la dépense de son exécution au quart environ, soit 25.000 francs par kilomètre et pour la longueur totale 1.250.000 fr., dont l'intérêt à 10 p. 100 n'est que 125.000 fr. à répartir sur 250.050 tonnes, soit 0f,50 par tonne. Les frais de traction seraient beaucoup plus élevés que sur le chemin de fer et ne peuvent guère être évalués à moins de 0f,25 par tonne et par kilomètre, ce qui ferait pour la distance totale 12f,50 par tonne, et porterait le prix total du transport à 15 francs par tonne. Route

Chacun des trois systèmes de transport que nous venons d'énumérer présente des avantages et des inconvénients comparativement à chacun des deux autres. La voie maritime, qui est la plus économique, exige pendant un certain temps de l'année l'emploi d'un matériel et d'un personnel considérables, et ne permet le transport que pendant quelques mois seulement. Le chemin de fer qui vient en seconde ligne pour le prix du transport a l'avantage de pouvoir être en activité constante, d'employer un personnel beaucoup moins nombreux et de l'employer en tout temps, et par conséquent d'assurer en tout temps le transport des charbons, mais il

exige le débours d'une première mise de fonds considérable. Enfin la route macadamisée sur laquelle le prix des transports atteindrait le chiffre le plus élevé, présente des avantages et des inconvénients qui tiennent le milieu entre ceux des deux systèmes précédents. Elle pourrait assurer le transport en tout temps comme le chemin de fer, mais avec un personnel et un matériel plus considérables que celui-ci et moindres que celui qu'exigerait la voie maritime ; d'un autre côté, elle présenterait l'avantage de contribuer à la civilisation et au développement de la culture dans cette partie si fertile de la Turquie d'Asie, en facilitant et augmentant les communications auxquelles le chemin de fer et la navigation resteraient à peu complétement étrangers.

Le choix définitif entre ces trois systèmes ne nous paraît pas pouvoir être fait seulement d'après les données qui précèdent. Il manque l'élément essentiel de la comparaison à faire entre eux, un projet régulier, basé sur des études soignées et détaillées du terrain. Mais il est une autre considération importante qui devra exercer une puissante influence sur la décision définitive à adopter, c'est celle de la dépense considérable qu'exigeraient les voies terrestres et par conséquent l'énorme mise de fonds qu'elle nécessiterait. Il faudrait donc d'abord faire entrer en ligne de compte les facilités plus ou moins grandes que pourrait rencontrer le concessionnaire pour se procurer ces fonds, et d'un autre côté, il est évident qu'une dépense aussi forte ne pourrait être faite que par celui qui serait assuré d'une concession d'assez longue durée et d'un débouché assez considérable, non-seulement pour en jouir et en retirer un certain bénéfice, mais encore pour pouvoir espérer amortir, avec ce bénéfice, le capital dépensé. C'est à

notre avis dans ces dernières considérations et surtout dans celles qui sont relatives aux conditions particulières et à la durée de la concession, à l'organisation spéciale de la compagnie chargée de l'exploitation, qu'il faut chercher les motifs déterminants du choix à faire, choix qu'il n'est donc pas possible de dicter d'avance.

Ici se termine notre tâche ; nos explorations et nos études nous ont convaincu de l'existence des grandes richesses minérales que possède le bassin d'Héraclée et de la possibilité d'en tirer un large parti, à l'aide de travaux bien entendus et d'une exécution peu difficile.

Nous espérons que cette conviction sera partagée par ceux qui jetteront les yeux sur notre rapport, et nous croirons avoir aussi convenablement rempli le but de la mission qui nous a été confiée.

En terminant, nous avons à remplir un devoir auquel nous nous soumettrons avec plaisir, en témoignant hautement de l'accueil et de l'appui que nous avons rencontrés tant auprès des fonctionnaires français que des fonctionnaires du pays, et d'en offrir particulièrement nos remercîments à M. Benedetti, chargé d'affaires de France, qui a bien voulu faire des démarches actives pour nous obtenir les moyens de visiter les mines.

M. le capitaine de frégate d'Heureux, commandant le bateau à vapeur *la Mouette*, qui nous a transportés à Héraclée et sur les divers points de la côte.

Hamdy-Pacha, gouverneur de la province, que nous avons rencontré à Héraclée, et qui nous a fourni les moyens matériels de faire nos explorations.

Mouin-Effendi, directeur des mines, qui nous a accompagné dans toutes nos excursions.

Enfin, M. Barkley que nous avons trouvé à Coslou, où après nous avoir fait visiter en détail les exploitations qu'il dirige, il nous a offert une cordiale hospitalité.

DES PROCÉDÉS D'ANALYSE

QUI PEUVENT ÊTRE EMPLOYÉS POUR LES TERRES VÉGÉTALES, LES AMENDEMENTS ET LES ENGRAIS.

Par M. L.-E. RIVOT,
Ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

Depuis plusieurs années l'analyse chimique a été appliquée à l'étude des phénomènes de la végétation, et bien des travaux importants ont été faits. MM. de Gasparin, Boussingault, Berthier et d'autres savants chimistes ont publié, soit des traités complets de science agricole, soit seulement des mémoires relatifs à un certain nombre de questions spéciales.

On doit admettre cependant que la théorie est encore peu connue, car les résultats pratiques sont à peu près seuls admis d'une manière générale; et des controverses scientifiques trop fréquentes prouvent que la physiologie végétale est peu connue.

Il faudra, pour résoudre les questions nombreuses que soulève le développement des végétaux, une étude patiente de toutes les circonstances de la végétation, et en même temps l'analyse exacte de toutes les parties des plantes, des terres, des amendements et engrais, des eaux d'irrigation, etc.

Ma carrière d'ingénieur m'éloigne trop de l'agriculture pratique pour que je puisse tenter des expériences suivies sur l'accroissement et sur la vie des végétaux, sur l'influence utile ou nuisible des substances qui sont employées comme amendements ou comme engrais. Je dois me renfermer dans les limites

de l'analyse minérale et organique, et laisser à d'autres le champ des expériences et de l'application.

J'ai dû analyser, au bureau d'essai de l'École des mines, un assez grand nombre d'échantillons de terres végétales et de substances employées pour les amender ou les rendre plus fertiles. Par ces travaux et par l'étude des publications faites sur le même sujet, j'ai été conduit à des méthodes d'analyses qu'il me paraît utile de faire connaître aux ingénieurs chargés de dresser les cartes agronomiques des départements.

Je m'estimerai très-heureux si par cette publication je peux leur être de quelque utilité dans le vaste travail qu'ils vont entreprendre.

Les méthodes que je propose sont en général assez longues, elles exigent des opérateurs assez habiles; mais ce fait résulte de la nature même des substances qu'il s'agit d'analyser; les éléments utilisables, tels que les alcalis, l'acide phosphorique, l'azote, etc..., sont presque toujours en faible proportion, et si leur dosage n'était pas fait avec exactitude, le but de l'analyse serait manqué.

Je me suis astreint à développer la série des opérations et à indiquer le but de chacune d'elles, bien plus qu'à donner les détails des manipulations, ces derniers étant bien connus des ingénieurs qui seront appelés à faire les analyses.

Considérations générales sur la végétation. — Les végétaux, considérés exclusivement sous le rapport de leur composition chimique, sont formés de substances organiques, de sels et de matières minérales. La nature et la proportion des composés organiques et minéraux est variable, non-seulement d'une espèce végétale à l'autre, mais encore dans les différentes parties d'une même plante.

L'étude chimique des végétaux, commencée déjà depuis longtemps, a fait connaître la nature et les propriétés d'un grand nombre des composés organiques du règne végétal ; il n'en est pas de même pour les composés minéraux : on sait bien quelles sont les substances qui sont indispensables à l'accroissement régulier des plantes, mais on ne connaît encore que très-peu de faits certains sur leur état de combinaison chimique.

Dans l'état actuel de la science, on doit craindre que cette incertitude ne soit encore de longue durée, car on ne peut déterminer les matières minérales d'une plante qu'après avoir détruit la substance organique par un grillage. On perd dans cette opération une partie des éléments minéraux, et on change tellement leur état de combinaison chimique qu'il est impossible de reconnaître, par l'analyse des cendres, les composés minéraux primitifs.

Les substances organiques contenues dans les végétaux renferment : du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote, et probablement du soufre, du chlore, du brome, de l'iode, du phosphore, etc.

Les composés minéraux des cendres contiennent : des alcalis, des terres alcalines, une sensible proportion d'alumine, des oxydes de fer et de manganèse, de la silice, de l'acide sulfurique, de l'acide carbonique et même de l'acide hydrochlorique.

Les végétaux peuvent puiser dans l'atmosphère et dans la terre les éléments des matières organiques ou minérales dont ils ont besoin pour leur accroissement, et on doit chercher à déterminer d'abord quels sont les éléments fournis par l'atmosphère, quels sont ceux que les plantes doivent prendre à la terre. Il faudrait que cette question fût parfaitement résolue, pour

qu'on sût d'une manière certaine dans quel sens diriger l'analyse des terres végétales, des amendements et des engrais.

Les travaux faits jusqu'à présent, les opinions divergentes émises par les savants qui se sont occupés de cette matière, n'ont pas encore bien éclairci les phénomènes de la végétation, et on doit considérer seulement comme des hypothèses assez vraisemblables la plupart des théories qui ont été mises en avant.

— L'acide carbonique de l'air est certainement la principale source à laquelle les végétaux prennent leur carbone, mais ce n'est pas la seule; le sol doit leur en fournir une certaine proportion, soit par l'acide carbonique contenu dans l'eau, soit par les sels organiques solubles qui proviennent en grande partie des engrais.

— L'oxygène et l'eau atmosphériques, aussi bien que l'eau, dont une terre fertile est toujours imprégnée, fournissent aux plantes une grande partie de l'oxygène et de l'hydrogène dont elles ont besoin.

— La petite quantité d'ammoniaque contenue dans l'air atmosphérique peut fournir aux végétaux de l'azote et de l'hydrogène; mais si l'on considère les heureux résultats obtenus dans l'agriculture par l'emploi des engrais azotés, on doit être convaincu que c'est dans le sol que les plantes vont chercher l'azote, ou au moins la plus grande partie de leur azote. Il est bien difficile, pour ne pas dire impossible, de savoir à quel état chimique doit se trouver l'azote pour être absorbé par les racines; on admet généralement que c'est à l'état de sels ammoniacaux, provenant de la décomposition lente des matières azotées, et cette opinion est rendue probable par la nature des affinités chimiques de l'azote.

Les engrais azotés fournissent donc aux plantes

de l'oxygène et de l'hydrogène en même temps que l'azote : ils leur donnent également du soufre, du carbone, du phosphore, du chlore, etc., suivant que les sels ammoniacaux tiennent pour acides l'acide sulfurique, l'acide carbonique, l'acide phosphorique ou l'acide hydrochlorique. Quant aux alcalis, aux terres alcalines, aux oxydes métalliques, à la silice et aux acides minéraux, il est évident qu'ils proviennent du sol, et de plus qu'ils ne peuvent être absorbés qu'en dissolution dans l'eau, plus ou moins chargée d'acide carbonique.

Ces considérations conduisent à la conclusion suivante : dans l'examen chimique des terres végétales, des engrais et des amendements, on doit s'attacher principalement à déterminer l'azote et les sels minéraux qui peuvent être utilisés pour la végétation, et de plus la tendance des matières organiques azotées et des combinaisons minérales à produire des sels solubles, sous l'influence longtemps prolongée des agents atmosphériques.

Ce n'est donc pas une simple analyse qui peut fixer la valeur utile d'une terre ou d'une substance employée comme amendement ou comme engrais. Cette valeur ne peut être indiquée que par une série d'expériences déterminant la nature et la proportion des matières solubles que la substance proposée, soumise aux influences atmosphériques ordinaires, peut mettre successivement à la disposition des racines. Une étude correspondante devrait être faite pour les produits volatils de la décomposition des matières organiques. On conçoit aisément qu'en réunissant tous les résultats obtenus, en les comparant à la composition des végétaux, on pourrait être conduit à déterminer la nature des engrais et des amendements qu'il faudrait employer

pour un terrain donné et pour une culture déterminée, et à indiquer les proportions pour lesquelles la perte des matières utiles serait très-faible.

Je ne pense pas que ces expériences aient été faites, et leur longueur découragera probablement les chimistes ; je n'ai insisté sur ce point que pour montrer qu'on ne doit pas attacher une importance trop grande aux résultats absolus donnés par les analyses, et en même temps qu'il peut diriger les opérations de manière à obtenir des indications comparatives sur la facilité avec laquelle les matières organiques et minérales peuvent être décomposées.

Les agents chimiques employés dans les analyses sont bien plus énergiques que ceux de la nature, et par conséqnent les résultats obtenus, pour des matières de même nature, ne peuvent être comparables que si les analyses sont faites de la même manière.

Division du mémoire.

Mon mémoire sera divisé en trois chapitres. Dans le premier, j'exposerai les opérations qui doivent être faites pour l'examen d'une terre végétale. Le second sera sera consacré aux eaux d'irrigation et de drainage.

Dans le troisième, je considérerai l'analyse des substances employées comme amendements et engrais.

CHAPITRE PREMIER.

DE L'ANALYSE DES TERRES VÉGÉTALES.

L'analyse d'une terre végétale ne peut être utile que si l'on a bien déterminé toutes les circonstances dans lesquelles la terre est placée, le mode de culture, la nature des produits obtenus.

Il faut commencer par étudier sur place la situation géographique et géologique, l'exposition et l'inclinaison, les conditions de stagnation ou d'écoulement facile

des eaux, les facilités présentées pour l'irrigation ou le drainage, l'épaisseur et l'homogénéité de la couche végétale, la nature du sous-sol, celle des roches sous-jacentes dans lesquelles les racines des végétaux ne peuvent pénétrer, mais qui peuvent influer sur le régime des eaux.

Il faut noter également la nature et la proportion des engrais et des amendements qui ont été employés depuis une certaine période.

On doit ensuite prendre des échantillons de la terre végétale, du sous-sol, des eaux servant aux irrigations, des eaux sortant des tuyaux de drainage, et de toutes les substances qui sont ou pourraient être employées pour rendre la terre plus fertile.

Je m'occuperai spécialement, dans le présent chapitre, de la couche végétale.

L'échantillon moyen est difficile à choisir, car d'un côté le sol est rarement homogène, et d'un autre côté la longueur des opérations analytiques s'oppose à ce qu'on prenne plusieurs échantillons dans le but de les soumettre séparément à l'analyse, pour prendre ensuite la moyenne des résultats. Prise d'essai.

Il faut choisir dans la pièce de terre, d'après l'apparence et les produits des récoltes précédentes, la partie qui donne les résultats moyens, et prendre, autant que possible, pour l'essai toute la hauteur de la couche végétale. Il ne faut pas moins de quatre à cinq kilogrammes de terre pour les différentes opérations. La quantité nécessaire dépend, du reste, de la grosseur des cailloux et de l'hétérogénéité ; plus les cailloux sont gros, moins le sol est homogène, plus il faut en prendre un poids considérable.

Il est important de tenir note des conditions hygrométriques, et renfermer immédiatement l'échantil-

lon dans un vase qui ne puisse ni céder ni absorber de l'humidité.

L'échantillon étant apporté au laboratoire, il faut déterminer les matières organiques, les caractères physiques et enfin les substances minérales.

Matières organiques.

Les matières organiques sont de nature diverse ; ce sont des débris de végétaux, dans un état de décomposition plus ou moins avancée, toujours irrégulièrement répartis dans l'échantillon, ou bien des matières provenant des engrais et presque complétement décomposées.

Pour toutes ces matières, il importe de déterminer surtout les produits solubles et volatils qu'elles peuvent donner sous l'action de l'air, de l'humidité et de la lumière.

Cette détermination n'a pas encore été faite, très-probablement à cause de la longueur des expériences. Si on laisse de côté ce point important, on doit se borner à évaluer l'azote contenu dans les matières organiques, et à obtenir ainsi une approximation de la quantité d'ammoniaque que peut produire le terrain, par la décomposition complète des substances azotées qu'il renferme. Le résultat obtenu n'a pas d'application immédiate, car il n'indique pas de quelle manière, ni dans quel espace de temps cette quantité d'ammoniaque sera mise à la disposition des plantes.

En partant de cette observation, plusieurs chimistes ont conseillé de ne pas faire la détermination de l'azote, et d'évaluer seulement par une expérience rapide la proportion des matières organiques.

Je pense cependant qu'on a intérêt à connaître si le terrain contient une proportion notable d'azote, car il faudra évidemment employer d'autant plus d'engrais azoté que le terrain renferme une plus faible proportion de cette substance utile.

Essai qualitatif. — Pour reconnaître la présence de l'azote dans une terre, on en chauffe un poids déterminé avec du potassium métallique dans un tube de verre fermé à une extrémité, assez long pour que l'air ne puisse pas pénétrer facilement jusqu'au fond. On élève la température jusqu'au rouge ; on laisse refroidir et on traite par l'eau ; la dissolution contient du cyanure de potassium en quantité variable avec la proportion d'azote et avec la manière dont on a conduit l'opération.

Elle ne peut donc servir qu'à l'essai qualitatif, tout en indiquant aux personnes habituées à ce genre d'expériences si l'azote de la terre est en proportion dosable ; pour ce motif, il convient de peser la portion sur laquelle on opère. Le réactif le plus commode pour rendre évident le cyanure de potassium produit est le protochlorure de fer en dissolution acide et exposée à l'air pendant quelque temps, c'est-à-dire contenant une certaine quantité des deux chlorures. Il se produit immédiatement du bleu de Prusse, dont la couleur bleu foncé permet de reconnaître les plus faibles traces de cyanogène.

En opérant de cette manière, on ne sait pas à quel état de combinaison l'azote entre dans la terre proposée ; il peut être à l'état d'azotate aussi bien qu'à l'état de matière organique azotée. On peut reconnaître la présence de l'acide azotique, et même le doser approximativement, en traitant un poids assez grand de terre par l'eau, concentrant la liqueur, et cherchant l'acide azotique dans cette dissolution par la méthode de M. Schlesing. Ce procédé a été publié récemment dans les *Annales de physique et de chimie ;* j'en donne la description dans les *Annales des mines* (Extraits de chimie, 1854).

Le dosage de l'azote total ne peut être fait que par les méthodes ordinaires de l'analyse organique ; elles

sont trop connues pour que j'aie besoin d'insister sur ce point : l'exposition des procédés sera d'ailleurs mieux à sa place au chapitre des engrais.

Très-rarement on doit procéder au dosage de l'azote dans les terres végétales ; ordinairement les essais qualitatifs indiquent des proportions trop faibles pour qu'on puisse espérer de le doser avec exactitude. Il est donc important de se familiariser avec les deux essais qualitatifs que j'ai indiqués précédemment, afin d'obtenir des indications comparables des proportions plus ou moins grandes d'azote contenu dans des terres différentes, en opérant toujours de la même manière et sur la même quantité.

Procédé de M. Berthier.

M. Berthier a publié récemment dans les *Annales de physique et de chimie* un mémoire sur l'analyse des terres et des cendres végétales. Ce savant chimiste conseille de ne pas chercher l'azote dans les terres, par le motif que les engrais, dont l'usage est actuellement général, apportent au terrain une quantité d'azote bien supérieure à celle que réclame la végétation. Il propose de constater rapidement les proportions des matières organiques par fusion avec un excès de litharge.

M. Berthier s'est assuré, par de nombreuses expériences, que les matières organiques qui se rencontrent ordinairement dans les terres donnent, par fusion avec la litharge, des proportions de plomb peu variables, et dont la moyenne est de 13,30 de plomb pour 1 de matière organique.

En admettant ce résultat, on peut conclure, avec une approximation peut-être suffisante, que la terre contient 0,075 de substance organique par chaque unité de plomb métallique obtenu dans la fusion.

L'opération doit être faite avec un excès de litharge

assez grand pour déterminer la fusion facile de toutes les matières contenues dans l'échantillon ; on pourrait bien se débarrasser du calcaire par une digestion avec un acide étendu, ainsi que l'a fait M. Berthier. Je pense que ce traitement par un acide peut altérer beaucoup les matières organiques et fausser les résultats. Il est donc prudent de n'employer que des moyens mécaniques, par exemple le triage avant la pulvérisation, pour séparer les fragments calcaires bien exempts de toute matière organique.

La méthode de M. Berthier, modifiée quant à ce détail, me paraît bonne en ce sens qu'elle donne, en très-peu de temps, l'évaluation approximative de la quantité de matière organique, évaluation qui ne peut être faite par aucun autre procédé ; mais il est très-important de faire, sur une quantité pesée, l'essai qualitatif pour l'azote et au besoin son dosage.

Propriétés physiques.

On doit constater l'état hygrométrique de la terre qui est soumise à l'analyse, afin de savoir à quel poids de matière sèche rapporter les résultats obtenus. Mais on doit en outre constater la faculté hygrométrique, c'est-à-dire évaluer la quantité d'eau dont la terre peut s'imprégner, et sa tendance à retenir l'eau quand elle est exposée dans une atmosphère sèche. Ces déterminations donnent des indications utiles sur la manière d'être du terrain pendant les grandes pluies et pendant les sécheresses.

Eau hygrométrique.

La détermination de l'eau hygrométrique contenue dans l'échantillon peut être faite par deux méthodes : 1° par dessiccation rapide à une température un peu supérieure à 100° ; 2° par dessiccation lente à la température ordinaire, sous le récipient de la machine pneumatique.

Pour appliquer la première méthode, on prend un

poids de terre assez grand pour représenter la composition moyenne, sans qu'on soit obligé de pulvériser; on le met dans une capsule de porcelaine tarée d'avance, et on chauffe à 105° ou 110°, soit sur un bain de sable, soit dans une étuve; on arrête l'expérience quand deux pesées successives, faites à un intervalle de plusieurs heures, indiquent à peu près le même poids; on prend alors la perte comme représentant l'eau hygrométrique.

On commet dans le dosage une erreur assez notable, provenant de la décomposition partielle des matières organiques, déjà sensible à la température nécessaire pour expulser toute l'eau non combinée.

On évite cette cause d'erreur en employant la seconde méthode, en desséchant lentement sur le récipient de la machine pneumatique, à côté d'un vase contenant de l'acide sulfurique concentré. Ce procédé, plus lent, mais plus certain, doit être employé de préférence dans tous les laboratoires munis de l'appareil pneumatique.

Dans le tableau de l'analyse, il faut toujours indiquer en note de quelle manière a été fait le dosage de l'eau.

Faculté hygrométrique.

Pour déterminer la faculté hygrométrique, on doit opérer sur un poids assez considérable, de 1/2 à 1 kilogramme, suivant que la terre renferme moins ou plus de cailloux de grandes dimensions. On sait, d'après l'expérience précédente, sur quel poids de terre sèche on opère : on le place dans un entonnoir dont le fond est bouché par un tampon d'amiante assez peu serré pour laisser passer l'eau ; l'entonnoir est disposé de manière à pouvoir être facilement attaché au plateau d'une bonne balance, et la tare doit avoir été prise exactement.

La terre placée dans l'entonnoir est ensuite bien imprégnée d'eau ; on laisse égoutter quelques instants, on porte à la balance et on détermine l'augmentation de poids.

On évalue de cette manière la quantité d'eau dont le terrain peut s'imprégner dans les irrigations ou dans les conditions hygrométriques les plus favorables.

On laisse ensuite la terre se sécher lentement à l'air, dans une chambre dont la température est maintenue à peu près constante ; on pèse tous les jours ou à des intervalles réguliers un peu plus longs, jusqu'au moment où le poids devient stationnaire.

Cette longue série de pesées donne une indication utile sur la manière dont se comportera le terrain pendant les sécheresses ; mais leur importance n'est pas dans la valeur absolue des nombres obtenus, mais bien dans la comparaison de ceux donnés par des terres différentes placées à peu près dans les mêmes conditions de climat.

Il est raisonnable d'admettre que les terres qui sont capables d'absorber, sans se délayer, la plus grande proportion d'eau, et de la retenir plus longtemps pendant les sécheresses, doivent être plus favorables à la végétation. Elles doivent perdre moins facilement les matières utiles solubles, et les mettre pendant un temps plus long à la disposition des racines.

Pour compléter ces expériences, il faut encore observer si la terre absorbe l'eau rapidement ou lentement, si elle se gerce profondément quand elle est soumise à une rapide dessiccation. Je dois dire cependant que ces observations peuvent être faites sur le terrain avec plus de fruit que sur des échantillons au laboratoire.

Densité. il est utile de constater le poids de la terre dans un volume déterminé, en tassant toujours la terre de la même manière. C'est encore sur le terrain qu'il importe de faire ces expériences, ainsi que celles relatives à la dureté, à la facilité du travail à la bêche, à la charrue, etc.

Les terres végétales sont composées ordinairement de plusieurs matières différentes, de parties pulvérulentes, de grains de diverses grosseurs et de cailloux. Le mélange dans certaines proportions est favorable, au dire de plusieurs agriculteurs distingués. Il est donc important de constater l'état physique de la terre proposée et la proportion des cailloux, sables et parties pulvérulentes. On arrive au résultat par une lévigation qui doit se faire sur un poids très-grand.

On place la terre dans une terrine, ou dans une vaste capsule de porcelaine pleine d'eau ; on laisse digérer assez longtemps pour que l'argile puisse être bien délayée; on agite fortement avec les mains et avec une spatule, afin de mettre toutes les matières fines en suspension; on laisse les sables se déposer par un repos de quelques secondes, et on décante. On recommence cette opération autant de fois que l'eau se trouble par l'agitation et qu'on sent à la main des parties argileuses non encore délayées.

Il faut alors laisser toutes les eaux décantées s'éclaircir par le repos, recueillir toutes les parties fixes, les sécher à 100° et les peser. Les sables et cailloux sont de même séchés à 100°, et puis on détermine ensuite la grosseur, la nature et la composition chimique des sables et cailloux ; ce sont ordinairement : du calcaire, des sables quartzeux, ou des débris de roches qu'il est facile de reconnaître par un examen à la loupe. L'analyse ne présente aucune difficulté et peut être faite très-ra-

pidement. Quant aux parties fines, leur composition chimique est donnée, avec une approximation bien suffisante, par la comparaison de la composition de la terre et de celle des sables et cailloux.

Assez ordinairement, la somme du poids des deux parties données par la lévigation est inférieure au poids de la terre employée, déduction faite de l'eau hygrométrique. La différence peut être expliquée par la dissolution de tous les sels minéraux solubles, et par la perte d'une partie des matières organiques qui surnagent les eaux de décantation.

L'analyse des sables et cailloux doit être faite de la manière suivante : on pulvérise la matière, on mélange de manière à obtenir une poussière parfaitement homogène ; on en prend 5 grammes, et on la traite par l'acide azotique très-étendu.

La partie insoluble est pesée et sa nature est déterminée à la loupe. La liqueur azotique contient la chaux et peut-être un peu d'acide sulfurique ou d'acide phosphorique, provenant d'une petite quantité de sulfate et de phosphate de chaux mélangés avec le calcaire. On divise la liqueur azotique en deux parties : dans l'une, on dose l'acide sulfurique et par suite le sulfate de chaux ; dans l'autre, on cherche l'acide phosphorique et on en fait le dosage, s'il y a lieu ; on calcule, d'après son poids, la proportion de phosphate de chaux ; le carbonate de chaux est dosé par différence.

L'analyse conduite de cette manière n'est pas très-exacte, mais elle indique la nature et la proportion des substances qui peuvent être utiles à la végétation, le sulfate, le phosphate et le carbonate de chaux, et par suite elle doit être considérée comme bien suffisante.

Pesanteur. Enfin, il est utile de constater le poids de la terre sous un volume déterminé, en tassant toujours la terre de la même manière. C'est encore sur le terrain qu'il importe de faire ces expériences, ainsi que celles relatives à la dureté, à la facilité du travail à la bêche, à la charrue, etc.

État physique. Les terres végétales sont composées ordinairement de plusieurs matières différentes, de parties pulvérulentes, de grains de diverses grosseurs et de cailloux. Le mélange dans certaines proportions est favorable, au dire de plusieurs agriculteurs distingués. Il est donc important de constater l'état physique de la terre proposée et la proportion des cailloux, sables et parties pulvérulentes. On arrive au résultat par une lévigation qui doit se faire sur un poids très-grand.

On place la terre dans une terrine, ou dans une vaste capsule de porcelaine pleine d'eau ; on laisse digérer assez longtemps pour que l'argile puisse être bien délayée ; on agite fortement avec les mains et avec une spatule, afin de mettre toutes les matières fines en suspension ; on laisse les sables se déposer par un repos de quelques secondes, et on décante. On recommence cette opération autant de fois que l'eau se trouble par l'agitation et qu'on sent à la main des parties argileuses non encore délayées.

Il faut alors laisser toutes les eaux décantées s'éclaircir par le repos, recueillir toutes les parties fixes, les sécher à 100° et les peser. Les sables et cailloux sont de même séchés à 100°, et puis on détermine ensuite la grosseur, la nature et la composition chimique des sables et cailloux ; ce sont ordinairement : du calcaire, des sables quartzeux, ou des débris de roches qu'il est facile de reconnaître par un examen à la loupe. L'analyse ne présente aucune difficulté et peut être faite très-ra-

pidement. Quant aux parties fines, leur composition chimique est donnée, avec une approximation bien suffisante, par la comparaison de la composition de la terre et de celle des sables et cailloux.

Assez ordinairement, la somme du poids des deux parties données par la lévigation est inférieure au poids de la terre employée, déduction faite de l'eau hygrométrique. La différence peut être expliquée par la dissolution de tous les sels minéraux solubles, et par la perte d'une partie des matières organiques qui surnagent les eaux de décantation.

L'analyse des sables et cailloux doit être faite de la manière suivante : on pulvérise la matière, on mélange de manière à obtenir une poussière parfaitement homogène ; on en prend 5 grammes, et on la traite par l'acide azotique très-étendu.

La partie insoluble est pesée et sa nature est déterminée à la loupe. La liqueur azotique contient la chaux et peut-être un peu d'acide sulfurique ou d'acide phosphorique, provenant d'une petite quantité de sulfate et de phosphate de chaux mélangés avec le calcaire. On divise la liqueur azotique en deux parties : dans l'une, on dose l'acide sulfurique et par suite le sulfate de chaux ; dans l'autre, on cherche l'acide phosphorique et on en fait le dosage, s'il y a lieu ; on calcule, d'après son poids, la proportion de phosphate de chaux ; le carbonate de chaux est dosé par différence.

L'analyse conduite de cette manière n'est pas très-exacte, mais elle indique la nature et la proportion des substances qui peuvent être utiles à la végétation, le sulfate, le phosphate et le carbonate de chaux, et par suite elle doit être considérée comme bien suffisante.

Analyse de la terre.

L'analyse exacte de la terre est nécessairement très-longue parce qu'il faut évaluer des quantités très-faibles de sels alcalins et de sulfate de chaux, en présence de matières organiques.

On doit prendre pour l'analyse un poids assez grand pour que les résultats obtenus puissent représenter la composition moyenne de l'échantillon proposé, de 100 à 200 grammes, suivant que la terre est moins ou plus hétérogène. On traite par l'eau, sans pulvériser, on laisse digérer longtemps et on filtre.

La liqueur contient : les sels alcalins, l'acide sulfurique du sulfate de chaux, la base du même sel dans le cas seulement de l'absence de carbonates alcalins, et des matières organiques.

La partie insoluble, reçue sur un filtre, contient : le quartz et les roches quartzeuses, l'argile, l'oxyde de fer et l'oxyde de manganèse, le phosphate de chaux, les carbonates de chaux et de magnésie, des matières organiques, et de plus, dans certains cas seulement, une petite quantité de carbonate de chaux provenant de la décomposition du sulfate de chaux par les carbonates alcalins.

Le traitement par l'eau n'atteint pas complétement le but qu'on se propose, celui de dissoudre les sels solubles et de séparer leur dosage de celui des sels insolubles. On ne peut pas éviter la réaction chimique des carbonates alcalins sur le sulfate de chaux; par conséquent, dans l'analyse de la partie soluble, on ne peut savoir à quelle base l'acide sulfurique est combiné dans la terre.

Partie soluble dans l'eau, on évapore à sec et on chauffe doucement sous la moufle, afin de décomposer les matières orgnaniques. On doit opérer dans une cap-

sule de platine tarée d'avance et déterminer par une pesée la somme des sels fixes solubles.

On dissout de nouveau dans l'eau, on mesure le volume de la dissolution, et en opérant sur des fractions connues de ce volume, on détermine, dans des opérations séparées, les acides hydrochlorique, sulfurique et carboniques, et ensuite les alcalis et la chaux : cette dernière base n'est à doser que si l'on a constaté l'absence de l'acide carbonique.

L'acide hydrochlorique (1) est dosé à l'état de chlorure d'argent dans la liqueur rendue azotique : l'acide sulfurique est précipité et dosé à l'état de sulfate de baryte, en présence d'un petit excès d'acide hydrochlorique.

L'acide carbonique, dégagé lentement par la chaleur et par un acide, est reçu dans une dissolution ammoniacale bien claire de chlorure de barium, et dosé à l'état de carbonate de baryte.

Pour le dosage des alcalis je suppose le cas le plus complexe, celui où la liqueur ne renferme pas de carbonates, et contient de la chaux. Il faut deux opérations pour le dosage de la chaux et celui des alcalis. Dans l'une on précipite la chaux par l'oxalate d'ammoniaque, et on dose la chaux à l'état caustique ou à l'état de sulfate de chaux. Pour les alcalis, on utilise la dissolution qui a servi au dosage de l'acide sulfurique ; la liqueur acide contient un excès de chlorure de barium ; on précipite le baryte et la chaux par l'oxalate d'ammoniaque ; le précipité est bien lavé avant et après dessiccation. Les liqueurs sont évaporées à sec dans une

(1) Le dosage du chlore et nécessairement incertain ; on ne peut être sûr que le grillage, nécessaire pour la décomposition des matières organiques, n'en chasse pas une certaine quantité.

capsule de platine tarée ; le résidu est calciné lentement jusqu'au rouge sombre et jusqu'à l'expulsion complète des sels ammoniacaux ; il reste alors les chlorures alcalins, dont la proportion est donnée par l'augmentation de poids de la capsule.

Les alcalis sont ordinairement en proportion assez faible pour qu'on n'ait pas intérêt à faire la séparation de la potasse et de la soude. On évalue les deux ensemble en dosant le chlore dans le résidu de chlorures alcalins.

Je n'ai pas considéré l'acide azotique parce que déjà j'ai indiqué de quelle manière constater sa présence et déterminer sa proportion.

Partie insoluble dans l'eau. — On la grille sous la moufle, et sans pulvériser, en chauffant assez longtemps pour que l'acide carbonique du calcaire soit complétement expulsé. La perte de poids totale, obtenue en comparant la somme des poids des deux parties, soluble et insoluble dans l'eau, au poids total de la matière soumise au traitement, comprend :

1° L'eau hygrométrique et les matières organiques déterminées approximativement, comme je l'ai indiqué ;

2° L'eau de combinaison et l'acide carbonique des carbonates de chaux et de magnésie.

On n'a pas besoin de doser séparément l'acide carbonique, ce qui exigerait une opération spéciale sur une nouvelle quantité de terre. Il faudrait traiter par l'eau, sécher la partie insoluble, la pulvériser, prendre deux grammes de la poudre rendue homogène, et doser l'acide carbonique par une des nombreuses méthodes qui ont été proposées jusqu'à présent. Je considère cette opération comme peu utile, parce qu'on obtient

esque aussi exactement l'acide carbonique par le cal-
, après avoir terminé l'analyse.

J'ai besoin d'expliquer pour quel motif j'ai conseillé
griller la partie insoluble dans l'eau, sans la pul-
ériser; l'analyse de cette partie doit indiquer non-
ulement la proportion des matières insolubles, mais
core l'état de plus ou moins facile décomposition
l'argile. Or l'état chimique de l'argile est toujours
odifié par le grillage en présence de la chaux, et
tte modification est d'autant plus profonde que le
élange est plus intime. On obtient donc une plus
rande approximation de l'état de l'argile en grillant
ans avoir pulvérisé, c'est-à-dire, en laissant entiers
les fragments calcaires.

Je conseille cependant de faire une opération spé- **État chimique de l'argile.**
ciale sur la terre non grillée, dans le but d'évaluer plus exactement l'état chimique de l'argile et d'éviter la modification que le grillage produit dans la combinaison de la silice avec l'alumine. On traite la terre par l'acide hydrochlorique, on évapore à sec et on reprend par l'acide hydrochlorique. Le résidu est grillé, pesé, puis mis en digestion dans une dissolution faible de potasse, qui dissout la silice de l'argile attaquée. On évalue la proportion de silice, qui doit servir de terme de comparaison à la tendance de l'argile à être décomposée par voie humide, en lavant et pesant le nouveau résidu. La différence de poids est considérée comme silice.

Il est bien évident que le nombre obtenu ne peut avoir aucune signification en valeur absolue, puisque l'acide hydrochlorique et la potasse sont des réactifs bien autrement énergiques que l'eau chargée d'acide carbonique, qui dans la nature peut déterminer la dissolution de la silice; mais on peut admettre que,

dans la comparaison de plusieurs terres, les proportions de silice, rendue soluble par l'acide hydrochlorique et la potasse, peuvent servir à classer les terres dans l'ordre de leur tendance à céder de la silice aux plantes.

C'est pour ce motif, et avec cette restriction, qu'il me semble utile de faire l'opération que je viens d'indiquer, dans le but d'évaluer l'état chimique de l'argile.

Je suppose qu'on ait fait à part cette détermination de la silice attaquable, on peut sans inconvénient pulvériser la matière avant grillage ; on a de plus l'immense avantage de pouvoir prendre 5 grammes seulement de la poudre rendue bien homogène, pour le grillage et l'analyse.

On a par le grillage : l'eau, l'acide carbonique, les matières organiques.

On traite par l'acide azotique, on évapore à sec et on reprend par le même acide. La dissolution contient ou peut contenir :

Alumine, chaux, magnésie, oxydes de fer et manganèse, acide phosphorique.

Le résidu renferme, le quartz et les roches quartzeuses, l'argile inattaquée et les silices de l'argile attaquée par l'acide azotique.

Liqueur azotique. Il faut s'être assuré par une analyse qualitative de la présence ou de l'absence de l'acide phosphorique. Le procédé le plus rapide est le suivant : on ajoute un grand excès de carbonate de soude pur, et on fait bouillir longtemps ; on décompose ainsi les phosphates, au moins en partie, et la liqueur alcaline doit contenir de l'acide phosphorique, si la terre renferme du phosphate de chaux.

On filtre, on acidifie par l'acide azotique et on verse

un petit excès de molybdate d'ammoniaque. Le réactif indique des traces d'acide phosphorique par une altération jaune de la liqueur, et une proportion dosable de l'acide par un précipité jaune, qui se forme lentement.

L'essai qualitatif, conduit de cette manière, a l'inconvénient d'exiger une opération spéciale; s'il indique la présence de l'acide phosphorique, on doit recommencer les opérations précédemment indiquées sur une nouvelle partie de la matière grillée, pour arriver à la liqueur azotique, dans laquelle les dosages doivent être faits. Aussi peut-il paraître plus commode de traiter la liqueur azotique comme si elle renfermait certainement de l'acide phosphorique, en se dispensant de l'essai qualitatif. Si cependant on considère la lenteur du procédé de dosage de l'acide phosphorique, on doit admettre qu'il vaut mieux faire en même temps deux grillages et deux évaporations avec l'acide azotique, consacrer l'une des liqueurs à la recherche qualitative et l'autre aux dosages. Les opérations qu'il faut faire sur cette dernière sont bien différentes, suivant qu'on a trouvé dans la première de simples traces ou une proportion dosable d'acide phosphorique.

Dans les premiers cas, on précipite par l'ammoniaque, l'alumine et les oxydes de fer et manganèse; le précipité contient toujours de la chaux et de la magnésie, à l'état de combinaison avec les sesquioxydes, et à l'état de sels adhérents au précipité en raison de son état spongieux. On le calcine, on le traite par l'hydrogène sec, au rouge, et on laisse refroidir dans l'hydrogène. On traite ensuite par l'acide hydrochlorique très-étendu d'eau et à froid. Cet acide dissout le fer, le manganèse, la chaux et la magnésie, et laisse l'alumine. Dans la liqueur acide le fer et le manganèse sont

séparés à l'état de sulfures par l'hydrogène sulfuré et saturation de l'acide par l'ammoniaque (1). Les deux sulfures sont dissous, sur le filtre, par l'acide hydrochlorique, et la dissolution est débarrassée de l'hydrogène sulfuré et du soufre, par une ébullition de quelques heures et une filtration.

On peroxyde le fer par le chlore, on chasse l'excès de chlore par la chaleur et on précipite par l'ammoniaque : on dose ensemble le fer et le manganèse à l'état de sesquioxyde et d'oxyde rouge. La proportion du manganèse est ordinairement très-faible, et les procédés de séparation du fer et du manganèse sont peu exacts et fort longs ; il est donc inutile de chercher à faire les dosages séparés.

On peut avoir une idée de la proportion du manganèse, en faisant fondre les deux oxydes avec du nitre et de la potasse, au creuset de porcelaine, et en traitant la matière fondue et refroidie par une dissolution de potasse. La couleur verte plus ou moins foncée, que prend la liqueur, est due au manganate de potasse, et peut indiquer si le manganèse se trouve en faible ou en forte proportion. Dans le cas où on jugerait nécessaire de faire la séparation des deux métaux, il faudrait dissoudre les oxydes calcinés et pesés, dans l'acide hydrochlorique, et précipiter le peroxyde de fer par le carbonate de chaux. On aurait ensuite à séparer les deux métaux d'un grand excès de chaux. Je n'ai pas besoin d'insister sur la longueur et les difficultés de cette méthode bien connue.

La chaux et la magnésie sont dans deux liqueurs

(1) Ce procédé est assez exact, mais il faut prendre garde à la solubilité du sulfure de manganèse dans l'eau chargée d'hydrogène sulfuré : on doit chauffer pendant quelques heures avant de filtrer.

ammoniacales (la seconde contient de l'hydrosulfate) ; on les réunit, et on précipite successivement, la chaux par l'oxalate d'ammoniaque et la magnésie par le phosphate de soude.

Dosage de l'acide phosphorique.

Je considère maintenant le cas où l'acide phosphorique est indiqué en proportion dosable par l'essai qualitatif. A la liqueur azotique on ajoute un faible excès d'acide sulfurique et on concentre lentement jusqu'à ce que tout l'acide azotique soit expulsé. On est bien sûr d'atteindre ce résultat en élevant progressivement la température jusqu'à ce que l'acide sulfurique commence à se vaporiser. On met alors du sulfate d'ammoniaque en cristaux, ou mieux en dissolution saturée, et on laisse digérer pendant vingt-quatre heures; on ajoute à la liqueur froide un grand excès d'alcool, et on fait digérer de nouveau vingt-quatre heures, en agitant très-fréquemment. On filtre et on lave avec de l'alcool. La liqueur alcoolique contient : l'acide phosphorique, un peu de sulfate de fer et de manganèse, et l'excès d'acide sulfurique.

La partie insoluble contient : le sulfate de chaux, le reste des oxydes de fer et de manganèse, et les sulfates doubles ammoniacaux d'alumine et de magnésie.

Pour doser l'acide phosphorique, on étend de beaucoup d'eau la liqueur alcoolique, on chasse l'alcool en chauffant doucement et longtemps, on sature l'acide par l'ammoniaque, et on précipite les deux métaux à l'état de sulfures par l'hydrosulfate. Il faut ensuite précipiter l'acide phosphorique par le sulfate de magnésie, et le doser à l'état de phosphate de magnésie.

Les deux sulfures métalliques sont dissous immédiatement dans l'acide hydrochlorique, et la solution est débarrassée de l'hydrogène sulfuré et du soufre : on la conserve jusqu'à ce qu'on ait séparé les deux métaux

contenus dans la partie insoluble dans l'alcool, afin de ne pas avoir le dosage du fer et du manganèse en deux parties.

Les sulfates, séparés du filtre et réunis aux cendres du papier, sont traités par une dissolution concentrée de carbonate alcalin, à la température de l'ébullition, et transformés de cette manière en oxydes et carbonates. Ceux-ci, bien lavés, sont dissous dans l'acide hydrochlorique, ou dans l'acide azotique ; on procède alors comme je l'ai indiqué dans le premier cas considéré.

Sable et argile. Il reste encore à examiner le résidu de l'évaporation à sec insoluble dans l'acide azotique, composé de quartz et roches quartzeuses, argile et silice provenant de la partie attaquée de l'argile. On sait quelles sont les matières qui le composent par un examen à la loupe, ou même au microscope, et par l'analyse on doit seulement chercher à déterminer la proportion de l'argile.

On fond au creuset de platine avec 4 parties de carbonate de soude, on traite par l'eau et l'acide chlorhydrique, on évapore à sec, et on reprend par le même acide. La partie insoluble donne la silice totale ; dans la liqueur chlorhydrique on dose seulement l'alumine.

On calcule la proportion de l'acide d'après le poids de l'alumine, obtenu dans les deux parties de l'analyse, et en admettant que l'argile est composée de deux parties de silice pour une partie d'alumine.

Essai des terres. On voit d'après ce qui précède que l'examen d'une terre exige des opérations nombreuses, et beaucoup de temps. On simplifie beaucoup l'analyse en ne cherchant pas les substances solubles dans l'eau, l'acide phosphorique, l'azote et les autres corps qui peuvent être contenus en faible proportion, c'est-à-dire en se bornant à faire les opérations indispensables pour le classement des terres dans les cartes agronomiques.

L'essai comprend encore un certain nombre d'opérations, que je vais indiquer brièvement.

1° Opérations préliminaires. On détermine l'eau hygrométrique, l'état hygrométrique, les caractères et les propriétés physiques, comme je l'ai exposé précédemment.

2° On évalue la proportion des matières organiques, par fusion avec un excès de litharge.

3° On soumet la terre au grillage sous la moufle d'un fourneau de coupelle ; la perte donne l'eau, l'acide carbonique et les matières organiques.

La matière grillée est pulvérisée, on en prend 5 gram., qu'on fait digérer dans l'acide acétique étendu. La partie insoluble est grillée et pesée : la perte de poids est considérée comme chaux et magnésie.

On traite le nouveau résidu grillé par l'acide hydrochlorique et on détermine la perte de poids ; elle donne les oxydes de fer et de manganèse. Enfin la partie insoluble dans les deux acides est examinée à la loupe, et par là on obtient une indication de l'argile, du sable quartzeux et des roches quartzeuses.

4° On procède à la lévigation, et on pèse les deux parties, d'un côté les sables et graviers, de l'autre les matières fines, toutes deux desséchées à 100°.

Les sables et graviers sont grillés sous la moufle, et traités comme la terre elle-même (3°). On conclut par différence la composition des matières fines.

En indiquant ce mode d'essai comme suffisant pour le classement des terres, je tiens à spécifier que l'analyse complète est indispensable toutes les fois qu'on veut apprécier la valeur des terres et les ressources qu'elles présentent à la végétation.

Pour fixer les idées je donne le tableau des résultats

obtenus dans l'analyse d'une terre, remise au bureau d'essai de l'École des mines par M. Ségalas.

L'échantillon provient d'une concession de 100 hectares, plantés en pin silvestre, dans les environs de Châlons-sur-Marne. Les matières organiques contenues sont des débris de feuilles et de pommes de pin. Je ne cite pas les nombres relatifs à la faculté hygrométrique et aux caractères physiques, parce que ces nombres n'ont d'importance que par la comparaison des résultats obtenus sur des terres différentes, traitées toutes de la même manière.

Tous les résultats sont rapportés à 100 parties de terre.

Lévigation.

Sables et graviers.	42,25	Sable quartzeux. . . .	1,03
		Carbonate de chaux. .	41,20
Matières fines. . .	52,50	Argile et sable fin. . . .	10,15
		Carbonate de chaux. .	32,50

Analyse.

Matières organiques.	1,80
Eau hygrométrique.	2,70
Eau combinée.	5,92
Acide carbonique.	33,20
Sable quartzeux.	3,10
Argile.	6,00
Silice attaquable.	3,10
Oxyde de fer.	2,00
Alumine.	0,15
Chaux.	40,50
Magnésie.	traces.
Alcalis.	0,38
Acide sulfurique.	0,28
Acide phosphorique.	0,12
Azote et chlore.	traces.
	99,25

Certaines terres nouvellement défrichées contiennent

en proportion considérable les sels minéraux et les matières organiques dont les plantes ont besoin, et se trouvent en même temps placées dans les conditions d'humidité les plus favorables à la végétation.

Elles peuvent donner des récoltes abondantes, plusieurs années de suite, sans qu'il soit nécessaire de les amender ou de leur apporter des engrais.

D'autres terrains, au contraire, sont peu fertiles ou même complétement improductifs, en raison de leur position, qui les expose à la sécheresse longtemps prolongée ou à l'humidité permanente. On leur rend la fertilité par des irrigations ou par l'établissement de tuyaux de drainage.

Il faut en outre, très-souvent pour les terres nouvellement défrichées et toujours pour celles qui sont cultivées depuis longtemps, modifier par des amendements la nature chimique et l'état physique du sol, ou bien lui apporter à intervalles réguliers, et par des engrais convenables, les matières azotées et les sels minéraux nécessaires à une végétation active. La question à résoudre par les agriculteurs est donc souvent fort complexe; ils doivent tenir compte de la composition chimique et des propriétés physiques des terres, des amendements et des engrais, de leur mode d'action, de leur décomposition lente par les agents atmosphériques, et en même temps de la convenance d'amener des eaux d'irrigation, ou d'enlever au sol par le drainage l'eau excédante qui serait nuisible à la végétation.

L'analyse chimique donne des indications indispensables, mais ne peut avoir toute sa valeur qu'entre les mains d'un habile agriculteur. — Le chimiste capable d'analyser les eaux d'irrigation, les terres, les amendements, les engrais, les végétaux eux-mêmes, n'est pas ordinairement assez familier avec la pratique agri-

cole pour tirer par lui-même un parti avantageux du résultat de ses analyses.

D'un autre côté, les praticiens n'ont pas assez de connaissances chimiques pour comprendre les résultats des analyses.

Il est donc nécessaire que des intermédiaires viennent réunir les deux branches utiles de la science agricole, en indiquant aux chimistes dans quel sens ils doivent diriger leurs recherches analytiques, et en déduisant de leurs résultats des connaissances à la portée des praticiens.

Les cartes agronomiques mettront prochainement en lumière ce besoin d'intermédiaires, car elles seront nécessairement trop scientifiques pour le plus grand nombre des personnes qui cultivent la terre, et en même temps elles n'atteindront pas le but qu'on s'est proposé, si les ingénieurs qui doivent les dresser ne se mettent pas en rapport avec les praticiens éclairés qui seuls peuvent leur faire connaître les besoins réels de l'agriculture.

Ces considérations étant posées, je vais considérer les méthodes d'analyse des eaux d'irrigation, des eaux de drainage, des amendements et des engrais.

CHAPITRE II.

DES EAUX D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE.

D'après M. de Gasparin, un terrain est trop sec, a besoin d'irrigations quand la terre renferme moins de 10 p. 100 d'humidité, à la profondeur moyenne de $0^{m},30$. Le même auteur considère comme trop humides et devant être drainées les terres qui, en toute saison, contiennent plus de 20 p. 100 d'eau.

Les résultats donnés jusqu'ici par le drainage sont

très-satisfaisants; mais au point de vue économique, le drainage ne sera jugé définitivement que dans un certain nombre d'années. Le principal sujet d'études, dans le moment actuel, est la composition des eaux sortant des drains; et une analyse, répétée fréquemment dans différentes saisons, peut seule indiquer la proportion des matières utiles enlevées au sol, et par suite la nature et les proportions des amendements et des engrais qu'il convient d'employer.

Les irrigations peuvent être pratiquées par des méthodes très-différentes, et la composition chimique des eaux peut donner des indications très-utiles sur la méthode la plus convenable. Je citerai comme exemple le cas spécial où les eaux d'irrigation seraient chargées de carbonate de chaux. Il est évident qu'on devra éviter les méthodes qui mettraient ces eaux en contact immédiat avec les racines; on devra les employer dans des circonstances telles que la plus grande partie du sel puisse se déposer sur la terre avant que les eaux ne puissent atteindre les racines.

Dans d'autres circonstances, les matières en suspension ou les sels tenus en dissolution peuvent être utiles à la végétation, et par suite il importe de conduire les irrigations de manière à ce que toutes ces substances utiles puissent rester dans le sol.

La nécessité d'analyses exactes des eaux de drainage et d'irrigation étant bien démontrée et les substances utiles étant presque toujours en faible proportion, il convient d'opérer sur des quantités assez grandes, de 50 à 100 litres, suivant que les eaux sont plus ou moins chargées de sels.

Il faut commencer par prendre note de toutes les circonstances dans lesquelles sont pris les échantillons. les enfermer dans des vases parfaitement bouchés, et

procéder aussi rapidement que possible à leur examen au laboratoire.

Matières en suspension.

On doit commencer par séparer les matières qui sont seulement en suspension de celles qui sont dissoutes, et ensuite examiner les deux parties.

A cet effet, on laisse les eaux s'éclaircir par dépôt dans les vases fermés, on décante et on reçoit le dépôt sur un filtre pesé d'avance; on sèche à 100 degrés; l'augmentation de poids du filtre indique la proportion des matières en suspension.

Elles contiennent ordinairement : du sable fin et de l'argile, des débris organiques, des carbonates de chaux et de magnésie, de l'oxyde de fer, et très-rarement du phosphate de chaux.

Les matières organiques ne renferment que des traces d'azote; il faut du reste s'en assurer par un essai qualitatif avec du potassium, par la méthode que j'ai déjà indiquée pour les terres végétales.

Dans le cas où les matières organiques contiendraient une notable proportion d'azote, il faudrait en faire le dosage par la méthode ordinaire des analyses organiques.

Généralement, les essais qualitatifs indiquent l'absence de l'azote et de l'acide phosphorique, au moins en quantité appréciable, et l'analyse comprend les opérations suivantes :

1° On détermine approximativement la proportion des matières organiques par une fusion avec de la litharge;

2° On dose en même temps, l'eau, l'acide carbonique et les matières organiques, par un grillage sous la mouffle;

3° On dissout les carbonates de chaux et de magnésie par l'acide acétique très-faible; on grille la partie

insoluble sous la moufle ; en comparant le poids obtenu à celui des deux premières opérations, on détermine avec une exactitude suffisante la proportion de carbonates alcalins-terreux, et celle de l'eau ;

4° La partie insoluble dans l'acide acétique contient le sable, l'argile et l'oxyde de fer ; sa coloration indique si l'oxyde de fer est en notable proportion. Dans ce cas, on traite par l'acide hydrochlorique, on évapore à sec, et on reprend par le même acide. Dans la dissolution on détermine l'oxyde de fer et l'alumine : dans la partie insoluble, on évalue la proportion de silice attaquable par une dissolution faible de potasse.

Le résidu insoluble dans l'acide hydrochlorique est examiné au microscope, et s'il contient beaucoup d'argile, on le fond au creuset de platine avec du carbonate de soude, pour doser la silice et l'alumine.

On calcule ensuite la proportion d'argile et de sable, en admettant que l'argile est composée de deux parties de silice pour une partie d'alumine.

Je n'ai donc pas besoin d'insister sur le cas, assez rare, où les matières en suspension contiennent une quantité dosable d'acide phosphorique ; l'analyse serait alors beaucoup plus complexe, et tout à fait semblable à celle que j'ai indiquée précédemment pour les terres végétales.

Enfin, il serait possible que certaines eaux employées pour les irrigations continssent un excès de sulfate de chaux ; c'est un cas exceptionnel, mais qui peut cependant se présenter. On s'assure de la présence du sulfate de chaux dans le dépôt, en le traitant par l'eau. Dans la liqueur on dose l'acide sulfurique, ce qui permet de calculer la proportion du sulfate de chaux.

La partie insoluble dans l'eau est ensuite traitée comme je l'ai indiqué précédemment.

Matières en dissolution.

L'eau claire, séparée des matières en suspension, contient : de l'air dissous, dont il importe de connaître la nature; des sels ammoniacaux; des sels alcalins; des carbonates de chaux et de magnésie, dissous par un excès d'acide carbonique; des sulfates de chaux et quelquefois du sulfate de fer; de la silice. L'acide phosphorique se présente en proportion dosable, seulement dans les eaux contenant très-peu de carbonate de chaux ou de magnésie.

Air dissous.

Pour déterminer la proportion et la nature de l'air dissous dans l'eau, il importe d'opérer très-peu de temps après la prise de l'échantillon, après avoir pris toutes les précautions pour que les gaz ne puissent pas s'échapper. Il est par conséquent convenable de ne pas séparer les matières en suspension, parce que la décantation et la filtration font perdre certainement une partie du gaz.

On prend deux litres d'eau, et on les porte à l'ébullition dans un appareil qui permette de recueillir sur le mercure tous les gaz dégagés. On détermine ensuite le volume et la nature de ces gaz; on a principalement à doser l'acide carbonique, l'oxygène et l'azote.

Bien des méthodes peuvent conduire au résultat : la plus exacte et en même temps la plus rapide est celle de M. Regnault; mais elle exige un eudiomètre spécial, qui ne se trouve pas dans tous les laboratoires. A son défaut, on peut obtenir une approximation suffisante, en absorbant l'acide carbonique par la potasse, et l'oxygène par le phosphore. Après chaque réaction on évalue le volume gazeux dans une éprouvette graduée, et on a par différence le volume du gaz absorbé.

Sels ammoniacaux.

Je considère maintenant l'analyse de l'eau claire, décantée et filtrée. Elle peut contenir l'azote soit à l'état d'ammoniaque, soit à l'état d'acide azotique : pour

évaluer l'ammoniaque, on prend trois à quatre litres d'eau, on ajoute un excès de soude caustique bien pure, et on chauffe progressivement, en faisant rendre les produits de la distillation dans un vase contenant de l'acide hydrochlorique. L'ammoniaque, volatilisée presque en totalité, si on pousse assez loin la distillation, est absorbée par l'acide. On peut la déterminer à l'état de chlorure double de platine et d'ammoniaque, dans la liqueur rendue alcoolique, en prenant les précautions bien connues pour ce mode de dosage.

M. Boussingault a indiqué une méthode plus rapide, qu'il considère comme étant aussi exacte. Elle consiste à recevoir l'ammoniaque dans une quantité connue d'acide chlorhydrique, et à déterminer le titre de l'acide, après l'absorption de l'ammoniaque, au moyen d'une dissolution alcaline titrée. Le procédé est extrêmement délicat, mais il permet d'évaluer, en très-peu de temps, des quantités d'ammoniaque bien plus petites que celles qui peuvent être dosées à l'état de sel double de platine.

La détermination de l'acide azotique ne peut être faite que par la méthode de M. Pelouze, modifiée et rendue applicable en présence des matières organiques par M. Schlœsing (1).

Acide carbonique.

Une partie de l'acide carbonique est dosée dans l'analyse du gaz dissous dans l'eau : la longue ébullition, nécessaire pour dégager ces gaz, donne un précipité qui contient le reste de l'acide carbonique, presque toujours à l'état de carbonate de chaux. On recueille ce précipité, on le traite par l'acide chlorhydrique faible, en faisant passer lentement le gaz dé-

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., t. XL, p. 479; *Annales des mines*, extraits de chimie, 1854.

gagé dans une dissolution ammoniacale bien claire de chlorure de barium : on dose l'acide carbonique à l'état de carbonate de baryte.

On obtient de cette manière le dosage de l'acide carbonique en deux parties; pour éviter cette cause d'erreur, et aussi celle qui proviendrait de ce que la chaux ne serait pas dans l'eau en proportion suffisante pour former du carbonate de chaux avec l'acide carbonique contenu, il faut opérer de la manière suivante :

On ajoute à un volume déterminé, 1 litre de l'eau proposée, une certaine quantité de chaux bien caustique, on fait digérer dans un flacon bouché à l'émeri; tout l'acide carbonique est alors déposé à l'état de carbonate de chaux. On recueille le précipité et on le traite par l'acide hydrochlorique, en faisant rendre le gaz dans une dissolution ammoniacale de chlorure de barium. On dose l'acide carbonique à l'état d'acide carbonique.

Acide sulfurique. L'eau proposée peut être considérée comme une dissolution très-étendue de sulfate de chaux, et le dosage de l'acide sulfurique à l'état de sulfate de baryte ne présente aucune difficulté.

Acide hydrochlorique. On peut doser le chlore par la méthode ordinaire, en le précipitant par le nitrate d'argent dans la liqueur rendue faiblement acide.

Ces deux dosages peuvent être faits sur l'eau elle-même, en deux opérations séparées, sur 2 ou 3 litres d'eau : le sulfate de baryte et le chlorure d'argent sont assez insolubles pour qu'on n'ait pas besoin de concentrer avant de faire les précipitations. Il n'en serait pas de même pour l'acide phosphorique, s'il était contenu en proportion notable, c'est-à-dire dans le cas où l'eau ne contiendrait pas de chaux. Il serait indispensable de concentrer beaucoup, parce que l'acide phospho-

rique ne peut être précipité qu'à l'état de phosphate double de magnésie et d'ammoniaque, sel dont l'insolubilité n'est pas bien nette.

Pour doser les bases fixes et la silice, il faut évaporer à sec un volume d'eau considérable, de 8 à 10 litres, avec une petite quantité d'acide; on reprend par l'acide hydrochlorique, et on pèse la silice restée insoluble. Si l'eau contient une proportion notable de sulfate de chaux, on doit craindre que la silice obtenue ne soit mélangée d'une petite quantité de ce sel : aussi doit-on la laver très-longtemps, et ensuite s'assurer qu'elle ne contient pas de chaux, en la faisant chauffer avec du carbonate de soude en dissolution concentrée; elle doit se dissoudre complétement. Dans le cas contraire on traite la partie insoluble par l'acide azotique, et on constate dans la liqueur la présence ou l'absence de la chaux par l'ammoniaque et l'oxalate d'ammoniaque. Bases fixes.

La liqueur acide, contenant les bases, doit être très-étendue, surtout dans le cas où l'eau renferme beaucoup de sulfate de chaux; on précipite par l'ammoniaque l'alumine et le peroxyde de fer. Le précipité entraîne toujours des alcalis, de la chaux, de la magnésie et du sulfate de chaux; on peut le purifier en le dissolvant dans un acide et précipitant une seconde fois par l'ammoniaque.

Il n'est pas ordinairement utile de faire la séparation de l'alumine et de l'oxyde de fer; ces deux bases sont dosées ensemble.

Les liqueurs ammoniacales sont traitées par l'oxalate d'ammoniaque, et la chaux est dosée à l'état caustique. On procède enfin à la séparation et au dosage de la magnésie et des alcalis, par les méthodes ordinaires.

Acide phosphorique.

L'acide phosphorique se présente quelquefois en notable proportion, mais alors l'eau ne contient pas de chaux, ou bien elle est notablement acide. Ces deux cas sont exceptionnels, et je n'ai pas besoin de les considérer. L'acide phosphorique est ordinairement en quantité assez faible pour que sa présence ne puisse être constatée que par un essai qualitatif, au moyen du molybdate d'ammoniaque dans une liqueur azotique.

Méthode de comparaison.

L'analyse que je viens d'exposer est très-longue, et, par conséquent, elle ne peut être faite qu'une fois pour chaque espèce d'eau, d'irrigation ou de drainage; d'un autre côté, il est très-utile d'examiner ces eaux dans plusieurs circonstances; par exemple, aux différentes saisons, après les pluies ou les sécheresses. Il est donc important d'adopter une méthode rapide d'examen qui permette de comparer les eaux de même provenance, dans des conditions différentes, à la composition exacte déterminée une fois pour toutes, dans une circonstance particulière.

La méthode la plus convenable me paraît être la suivante :

On évalue la proportion des matières tenues en suspension; on les examine à la loupe ou au microscope, afin de reconnaître la nature des matières qui composent le dépôt.

L'eau claire, décantée et filtrée, est soumise à une ébullition prolongée; on pèse le dépôt formé.

Enfin, on évapore à sec la dissolution, qui ne doit plus renfermer que les sels calcaires et le sulfate de chaux, et on prend le poids du résidu.

En comparant les nombres obtenus par ces trois opérations à ceux correspondants donnés par l'analyse complète, en admettant en outre que la nature des sels

reste la même dans les eaux d'une origine commune, et que leur proportion seule varie avec les circonstances atmosphériques, on peut déduire approximativement de cet examen rapide la composition des eaux.

CHAPITRE III.

DES AMENDEMENTS ET DES ENGRAIS.

Il serait beaucoup trop long et surtout inutile de considérer l'analyse de toutes les substances qui sont employées comme amendements et comme engrais. Je me bornerai à l'indication des méthodes d'analyse des principales matières minérales employées comme amendements, et à l'exposition du procédé général d'analyse applicable aux engrais azotés.

§ I. *Des amendements.*

J'examinerai successivement : les calcaires, la chaux caustique, les marnes, les argiles ; le phosphate de chaux ; le sulfate de chaux ; les cendres de combustibles, et les tangues.

La méthode d'analyse est à peu près la même pour les calcaires, la chaux, les marnes et les argiles ; leur mode d'action comme amendement est cependant bien différent, mais c'est une question de pratique dont je n'ai pas à m'occuper ici. Calcaires, chaux, marnes, argiles.

On doit se borner, dans l'analyse de ces matières, à doser la chaux, la magnésie et l'oxyde de fer, et à évaluer la proportion et l'état chimique de l'argile. Presque tous les calcaires, les marnes et les argiles contiennent une certaine quantité d'alcalis ; leur proportion est en général trop faible pour qu'il soit possible de constater même leur présence. La détermination des alcalis ne

pourra être faite qu'après la découverte de procédés d'analyse plus parfaits que ceux usités maintenant.

L'analyse, rendue plus simple parce qu'on néglige forcément les alcalis, comprend les opérations suivantes :

1° On dose ensemble, par un grillage sous la moufle, l'eau et l'acide carbonique.

2° On attaque 2 grammes de la matière par l'acide azotique étendu, on évapore à sec et on reprend par le même acide. La partie insoluble est calcinée et pesée. La liqueur azotique est évaporée à sec ; le résidu est chauffé jusqu'à 160°, et repris à la température de l'ébullition par une dissolution concentrée d'azotate d'ammoniaque. L'oxyde de fer et l'alumine restent seuls insolubles ; on les dose ensemble. La chaux, en dissolution dans la liqueur ammoniacale, est dosée par différence.

3° Le résidu de l'évaporation à sec, insoluble dans l'acide azotique, contient : le sable, l'argile inattaquée et la silice de l'argile attaquée par l'acide. Il est assez important d'évaluer la proportion de l'argile attaquable, parce qu'elle peut servir à comparer différents amendements, sous le point de vue de la facilité avec laquelle l'argile contenue se laissera décomposer par les agents atmosphériques.

Je rappelle ici ce que j'ai dit pour les terres végétales. Les nombres obtenus ne doivent pas être pris en valeur absolue, car il n'y a aucune similitude à établir entre l'action de l'acide azotique et celle de l'eau chargée d'acide carbonique ; ils ne peuvent servir qu'à la comparaison de l'état chimique de l'argile dans des matières différentes.

On évalue la proportion de la silice, provenant de l'argile attaquée, en traitant le résidu par une dissolu-

tion un peu étendue de potasse. La différence entre les poids du résidu primitif et de la nouvelle partie insoluble donne la proportion de silice.

Quant au mélange sable et argile inattaquée, insolubles dans l'acide azotique et dans une dissolution de potasse, on a ordinairement peu d'intérêt à l'analyser. L'examen à la loupe suffit pour donner une idée de la proportion de sable et de celle de l'argile.

On emploie, comme amendement, le phosphate de chaux minéral et celui qui provient de la calcination plus ou moins parfaite des os d'animaux. Phosphate de chaux.

Je considérerai d'abord le phosphate minéral.

Il contient ordinairement : du carbonate de chaux, de l'oxyde de fer, du phosphate de chaux, du sable et de l'argile.

Pour l'analyser :

1° On détermine l'eau et l'acide carbonique par un grillage au rouge sous la moufle ; sur une autre partie de la matière proposée, on dose l'acide carbonique en traitant par l'acide chlorhydrique et faisant passer lentement le gaz dégagé dans une dissolution ammoniacale de chlorure de barium. Le poids de l'acide carbonique, obtenu à l'état de carbonate de baryte, permet de calculer la proportion du carbonate de chaux contenu dans l'échantillon et, en même temps, par différence avec la perte de poids dans le grillage, l'eau hygrométrique et l'eau combinée à l'argile et à l'oxyde de fer.

L'eau hygrométrique peut être dosée facilement par une dessiccation à la température de 100°.

2° On attaque une autre partie du minéral par l'acide azotique, assez étendu pour qu'on puisse négliger son action sur l'argile, et, par suite, éviter l'évaporation à sec.

La partie insoluble est considérée comme sable et argile, pesée et ensuite examinée à la loupe. Il n'est pas utile, au moins dans les cas ordinaires, d'en faire l'analyse par fusion avec du carbonate de soude.

La liqueur azotique contient : l'acide phosphorique, la chaux, et généralement de l'oxyde de fer ; on lui ajoute un petit excès d'acide sulfurique ; on concentre jusqu'à l'expulsion complète de l'acide azotique ; on laisse refroidir et on traite par un excès d'alcool. La liqueur renferme tout l'acide phosphorique et l'oxyde de fer ; la partie insoluble est le sulfate de chaux. On lave à l'alcool et on pèse le sulfate de chaux calciné au rouge sombre ; son poids donne le dosage de la chaux.

De la liqueur alcoolique, étendue de beaucoup d'eau, en chasse l'alcool par une douce chaleur, on précipite le fer à l'état de sulfure par l'ammoniaque et l'hydrosulfate, et enfin l'acide phosphorique par le sulfate de magnésie ammoniacal. On dose le fer à l'état de sesquioxyde et l'acide phosphorique à l'état de phosphate de magnésie.

Le phosphate de chaux minéral peut contenir une petite quantité de fluorure de calcium qu'il serait très-intéressant de pouvoir évaluer ; malheureusement les méthodes analytiques proposées jusqu'à présent ne permettent pas de doser le fluor en présence de l'argile et des phosphates.

Le rôle du fluor dans la végétation n'a pas encore été constaté, en raison probablement de l'imperfection des méthodes analytiques. On a constaté sa présence dans différentes parties de l'organisation animale, notamment dans les os ; par conséquent, il doit exister aussi dans les végétaux, et ceux-ci ne peuvent le tirer que du terrain. Il y a là une question scientifique d'un haut in-

térêt qui, pourra être abordée seulement quand l'analyse aura fait de nouveaux progrès.

Les os des animaux contiennent une forte proportion de matière organique, qui pourrait être très-utile aux plantes; on est cependant forcé de les détruire, au moins en grande partie, par une calcination, afin de pouvoir pulvériser les os. Phosphate de chaux des os.

On doit déterminer : chaux et carbonate de chaux, phosphate de chaux, fluorure de calcium et matière organique. L'analyse est plus simple, mais dirigée de la même manière que celle du phosphate minéral; la présence de la matière organique, imparfaitement détruite par la calcination des os, pourrait seule exiger une opération différente, le dosage de l'azote; mais ce corps se présente ordinairement en proportion trop faible pour que son dosage soit utile.

La présence du fluor peut être constatée plus facilement que dans le phosphate minéral par l'acide sulfurique, par l'action produite sera une lame de verre, mais le dosage exact, en présence de l'acide phosphorique, est impossible.

L'analyse comprend les opérations suivantes :

1° Une calcination ou grillage sous la moufle, pour doser ensemble l'eau hygrométrique, l'acide carbonique et la matière organique;

2° Le dosage spécial de l'acide carbonique à l'état de carbonate de baryte;

3° Le traitement par l'acide sulfurique étendu, suivi d'une longue digestion avec de l'alcool. La chaux est dosée à l'état de sulfate et l'acide phosphorique est pesé à l'état de phosphate de magnésie.

On peut même supprimer la seconde opération, car le dosage spécial de l'acide carbonique n'offre pas un

grand intérêt. Avec toutes ces simplifications, l'analyse peut être faite en très-peu de temps.

Sulfate de chaux. Le plâtre est employé dans l'agriculture, soit avant soit après cuisson, et les résultats obtenus ne sont pas très-différents. L'analyse doit être faite sur l'amendement tel qu'il est employé; les opérations sont du reste les mêmes dans les deux cas. On doit évaluer l'eau, l'argile plus ou moins ferrugineuse, le carbonate et le sulfate de chaux.

On dose ensemble l'eau et l'acide carbonique par un grillage sous la moufle.

On traite 1 gramme de plâtre parfaitement porphyrisé par une très-grande quantité d'eau, à une très-douce chaleur, et en faisant digérer assez longtemps pour être certain que tout le sulfate de chaux est dissous. On évalue le sulfate, soit en évaporant à sec dans une capsule de porcelaine d'abord, ensuite dans une capsule de platine tarée, et chauffant jusqu'au rouge sombre; soit en dosant l'acide sulfurique à l'état de sulfate de baryte. dans la liqueur étendue, acidifiée par l'acide hydrochlorique. Le second procédé est presque aussi exact et plus rapide que le premier.

La partie insoluble dans l'eau est traitée par l'acide azotique très-étendu, qui dissout seulement le carbonate de chaux. On précipite la chaux par l'ammoniaque et l'oxalate, on la dose à l'état caustique.

Enfin, si le résidu argileux est en proportion notable, on l'analyse et on évalue l'état chimique de l'argile par les procédés que j'ai déjà indiqués précédemment. On traite par l'acide hydrochlorique, on évapore à sec, on reprend par le même acide; dans la liqueur, on dose l'oxyde de fer et l'alumine. La partie insoluble est traitée par une dissolution faible de potasse, qui dissout la silice provenant de l'argile attaquée; et le nouveau

résidu, examiné à la loupe, est considéré comme de l'argile en analysé par fusion avec du carbonate de soude.

On pourrait encore employer un autre procédé pour l'analyse du plâtre. On commencerait par faire bouillir avec une dissolution un peu concentrée de carbonate de soude, afin de décomposer le sulfate de chaux. Dans la liqueur on doserait l'acide sulfurique avec les précautions rendues nécessaires par la présence d'une forte proportion de sels alcalins. Le poids de l'acide sulfurique permettrait de calculer le sulfate de chaux. La partie indissoute, traitée par l'acide azotique étendu, donnerait le dosage de la chaux, et enfin le dernier résidu serait l'argile.

Cette méthode me paraît inférieure à la première, parce qu'il n'est pas possible d'éviter une attaque partielle de l'argile par une longue ébullition avec une dissolution concentrée de carbonate alcalin.

Cendres de combustibles divers.

On emploie dans l'agriculture les deux espèces principales de cendres, c'est-à-dire celles qui proviennent des combustibles minéraux et celles du bois et des autres végétaux. Le mode d'analyse est bien différent pour les deux espèces, en raison des sels alcalins que renferment seules les cendres des végétaux.

Cendres des combustibles minéraux. — Leur composition est très-complexe et varie avec leur mode de production. Ainsi les cendres des foyers domestiques ne contiennent presque pas d'escarbilles, ne sont pas agglomérées, mais sont presque toujours mélangées d'une petite quantité de cendres de bois ; au contraire, les cendres qui proviennent des appareils métallurgiques sont en partie agglomérées, contiennent des escarbilles, et ne renferment pas d'alcalis.

Les premières doivent être analysées comme les

cendres de bois, par la méthode que j'indiquerai plus loin. Les autres peuvent contenir :

Des escarbilles ; des parties agglomérées, composées de silicates plus ou moins bien fondus ; du sable et de l'argile ; de l'oxyde de fer ; de la chaux caustique et du carbonate de chaux ; quelquefois du sulfate de chaux et des acides arsénique et phosphorique, probablement combinés à la chaux.

Leur analyse est assez longue, même quand on néglige les petites proportions des acides arsenique et phosphorique qu'elles peuvent contenir. On doit commencer par pulvériser une quantité assez grande des cendres proposées, et bien mélangées, de manière à obtenir une poussière homogène. Ensuite :

Première opération. — Par un grillage sous la moufle on détermine l'acide carbonique et le charbon non brûlé ; on a intérêt à faire un dosage spécial de l'acide carbonique, afin d'évaluer par différence la proportion du charbon ; cette proportion est très-variable dans les cendres, aussi peut-on souvent considérer comme suffisante la perte de poids au grillage.

Deuxième opération. — On doit faire d'abord le dosage du sulfate de chaux, dans le but principal de connaître si ce sel est en faible proportion, ou bien s'il existe en quantité assez grande pour influer sur les procédés de séparation et de dosage des autres corps. On fait chauffer pendant vingt-quatre heures, à une température voisine de l'ébullition, cinq grammes de cendres dans une dissolution un peu concentrée de carbonate de soude pur.

On filtre et on lave la partie insoluble ; la liqueur contient l'acide sulfurique du sulfate de chaux et une assez forte proportion de silice provenant de l'argile et des silicates attaqués par le carbonate alcalin.

On acidifie cette dissolution par l'acide hydrochlorique, on étend d'eau et on laisse en repos pendant vingt-quatre heures, afin de permettre le dépôt de la silice en dissolution instable. On décante pour séparer la silice déposée, et on précipite l'acide sulfurique par le chlorure de barium. Le sulfate de baryte entraîne toujours des sels alcalins, en sorte que pour arriver au dosage exact, il faut le traiter, après calcination, par l'eau contenant un peu d'acide hydrochlorique et de chlorure de barium.

Le poids du sulfate de baryte permet de calculer la proportion du sulfate de chaux. Pour le reste de l'analyse, il faut distinguer deux cas : A, le sulfate de chaux est en quantité négligeable ; B, le sulfate de chaux est en proportion notable, assez grande pour modifier les procédés de séparation de l'alumine, de la chaux et de l'oxyde de fer.

Je considère d'abord le premier cas A.

Troisième opération. — On attaque 3 grammes de cendres par l'acide hydrochlorique, on évapore à sec et on reprend par le même acide. La partie insoluble contient : l'argile inattaquée, le sable et la silice des silicates et de l'argile attaqués par l'acide. On détermine la silice par une digestion de plusieurs heures dans une dissolution de potasse.

Le nouveau résidu est examiné à la loupe ; il n'est pas ordinairement utile de l'analyser, pour évaluer la proportion du sable et celle de l'argile. Il renferme avant grillage le charbon, provenant des escarbilles ; ce corps disparaît par le grillage sous la moufle, et le poids du résidu grillé peut être porté au tableau de l'analyse comme sable et argile inattaquée.

Je dois répéter ici ce que j'ai dit plusieurs fois dans ce mémoire, au sujet de la silice soluble dans une dis-

solution de potasse. Son poids ne doit pas être pris en valeur absolue, mais peut seulement servir à comparer des cendres différentes, sous le rapport de leur tendance à céder de la silice aux végétaux, sous l'influence des agents atmosphériques.

La dissolution chlorhydrique renferme l'alumine, l'oxyde de fer et la chaux, et son analyse ne présente pas de difficulté.

Quatrième opération. — Il ne faut pas négliger de constater la présence ou l'absence des deux acides arsénique et phosphorique, dont la proportion est habituellement trop facile pour qu'on y fasse attention dans les dosages précédemment indiqués.

Acide arsénique. — On traite 2 grammes de cendres par l'acide azotique, on filtre et on précipite par l'ammoniaque ; le précipité contient tout l'acide arsénique ; on le fait digérer avec de l'acide sulfurique concentré, à une douce chaleur, jusqu'à ce que tout le peroxyde de fer soit ramené au minimum : on étend d'eau et on verse la liqueur dans l'appareil de Marsh. La manière dont les taches arsenicales se déposent sur une surface de porcelaine et leur intensité permettent d'évaluer très-approximativement la proportion de l'arsenic quand elle ne dépasse pas 3 milligrammes, ce qui est le cas ordinaire.

Acide phosphorique. — La recherche de cet acide est très-longue et ne peut être que qualitative. On attaque 5 grammes de cendres par l'acide azotique, on évapore à sec, on reprend par l'acide azotique; à la liqueur on ajoute de l'acide sulfurique en faible excès, et on évapore jusqu'à l'expulsion complète de l'acide azotique. On ajoute une certaine quantité de sulfate d'ammoniaque, on laisse digérer plusieurs heures et on étend d'une forte proportion d'alcool. L'acide phosphorique

est en entier dans la liqueur acide avec une partie du sulfate de fer. On étend d'eau, on chasse l'alcool par la chaleur, on précipite le fer à l'état de sulfure, et enfin on cherche l'acide phosphorique par le sulfate de magnésie ammoniacal.

Ce procédé n'est pas très-bon parce que la liqueur qui contient en dernier lieu l'acide phosphorique est très-étendue. Il vaut mieux la traiter par l'acide azotique pour décomposer l'hydrosulfate d'ammoniaque, séparer le soufre par filtration, et employer le molybdate d'ammoniaque dans la liqueur acide pour reconnaître la présence de l'acide phosphorique.

Je considère maintenant le second cas B; le sulfate de chaux est en proportion assez forte pour qu'il soit nécessaire de le séparer avant de procéder à l'analyse.

Il faut commencer par traiter les cendres par une très-grande quantité d'eau, et faire digérer longtemps parce que le sulfate de chaux, calciné pendant la combustion, est très-peu et surtout très-lentement soluble dans l'eau.

L'analyse de la partie insoluble est faite comme je l'ai indiqué précédemment; la dissolution contient le sulfate de chaux, et la plus grande partie, si ce n'est la totalité, de la chaux caustique des cendres. Le dosage de l'acide sulfurique a été fait préalablement, et par conséquent il ne reste plus qu'à doser la chaux. On peut la précipiter par l'oxalate d'ammoniaque et l'ammoniaque, et la doser à l'état caustique, ou bien ajouter un peu d'acide sulfurique, évaporer à siccité et faire le dosage à l'état de sulfate de chaux.

Du poids obtenu on retranche la chaux nécessaire pour former du sulfate de chaux avec l'acide sulfurique dosé dans les cendres : le reste représente la chaux

existant à l'état caustique, et doit être ajouté à la chaux dosée dans la partie insoluble dans l'eau.

Cendres des combustibles végétaux. — On doit faire l'analyse des cendres végétales, non pas seulement quand il s'agit d'amendements, mais encore toutes les fois qu'on doit examiner les plantes, au point de vue des matières minérales qu'elles renferment.

Ces matières sont toujours réparties très-irrégulièrement dans les différentes parties, racines, tronc, écorce, branches, rameaux, feuilles, etc., en sorte que l'examen complet d'une plante exige de très-nombreuses analyses.

On ne peut déterminer les substances minérales qu'après avoir détruit toute la matière organique par grillage. Ce moyen est très-mauvais, et j'en ai déjà indiqué les raisons principales. Il donne lieu à des pertes notables, et modifie beaucoup les combinaisons des éléments minéraux.

Pour diminuer autant que possible la perte causée par l'incinération, il faut griller les végétaux bien desséchés en opérant à la plus basse température, c'est-à-dire au rouge sombre et sous la moufle d'un grand fourneau de coupelle. Quand les alcalis existent en forte proportion, les cendres s'agglomèrent avant que la combustion du charbon ne soit complète; il faut alors laisser refroidir et traiter par l'eau, afin de dissoudre les sels alcalins : la partie insoluble est de nouveau soumise au grillage jusqu'à ce que tout le charbon soit brûlé.

Les cendres contiennent, en proportions très-diverses, des acides carbonique, sulfurique, phosphorique, chlorhydrique, de la silice, des oxydes de fer et de manganèse, de la chaux, de la magnésie, des alcalis et une faible proportion d'alumine.

On traite d'abord les cendres par une grande quantité d'eau; par là on divise l'analyse en deux parties :

Partie soluble : elle renferme les alcalis, l'acide sulfurique, l'acide hydrochlorique, une certaine quantité d'acide carbonique, d'acide phosphorique et de silice.

Partie insoluble : elle contient l'alumine, la chaux, la magnésie, les oxydes de fer et de manganèse, et ensuite une partie de la silice, de l'acide carbonique et de l'acide phosphorique.

Dans certains cas, la partie soluble peut contenir de la chaux, mais alors l'acide phosphorique se trouve en entier dans la partie insoluble. Je considérerai seulement le plus ordinaire, celui où la dissolution dans l'eau contient de l'acide phosphorique.

Analyse de la partie soluble. — On mesure le volume total de la dissolution, on en prend des fractions déterminées, dans lesquelles on dose séparément, par les méthodes ordinaires, l'acide sulfurique, l'acide hydrochlorique, l'acide sulfurique et la silice.

Connaissant le poids des matières contenues dans la dissolution, il est facile de calculer la proportion des alcalis. Ce procédé par différence est aussi exact que le dosage direct; on s'en rend facilement compte en étudiant la série des opérations que nécessite ce dosage. En effet, il faut : précipiter la dissolution par le chlorure de barium, laisser le précipité se rassembler, et le laver par décantation. Comme il retient toujours une petite quantité d'alcali, on doit le traiter par l'acide hydrochlorique, et saturer par l'ammoniaque pour précipiter de nouveau le phosphate de baryte dissous par l'acide. On réunit la liqueur ammoniacale à la première dissolution; on précipite la baryte par l'oxalate d'ammoniaque; on évapore à sec; on chasse les sels ammoniacaux par la chaleur, et enfin on pèse les alcalis à

l'état de chlorures, on dose le chlore, et on détermine les alcalis fixes par le calcul.

Dans ces opérations, les causes d'erreur sont importantes; on a, dans un sens, la perte par l'évaporation d'une liqueur très-étendue, et par l'expulsion des sels ammoniacaux; en sens contraire, l'imparfaite insolubilité du phosphate et de l'oxalate de baryte, qui laisse un peu de baryte avec les alcalis.

Analyse de la partie insoluble dans l'eau. — On sépare d'abord la silice en traitant par l'acide azotique, évaporant à sec, et reprenant par l'acide azotique.

La liqueur acide est traitée par l'acide sulfurique; on chasse l'acide azotique par la chaleur; on ajoute du sulfate d'ammoniaque et ensuite de l'alcool.

Dans la dissolution acide, qui renferme l'acide phosphorique et les oxydes de fer et de manganèse, on dose les trois corps par les méthodes déjà exposées précédemment.

Les sulfates insolubles dans l'alcool sont décomposés par une longue ébullition avec le carbonate de soude.

L'alumine et les carbonates de chaux et de magnésie sont dissous dans l'acide azotique; on évapore à sec, on chauffe le résidu à 200°; on reprend par une dissolution concentrée d'azotate d'ammoniaque. L'alumine reste seule insoluble. Dans la dissolution ammoniacale, on précipite successivement la chaux par l'oxalate et la magnésie par le phosphate de soude.

Tangues. On donne le nom de tangue à des dépôts de sables, qui se renouvellent sans cesse sur les côtes de la Normandie. Elle est employée en forte proportion pour amender des terres de qualités et natures différentes, et paraît donner de bons résultats dans toutes. Un mémoire très-détaillé a été publié sur ce sujet par

M. Is. Pierre, professeur à la faculté de Caen (1); je dois renvoyer à cette publication pour tout ce qui est relatif au mode de gisement, à l'importance de l'extraction et à l'emploi dans l'agriculture. Je m'occuperai seulement de leur analyse.

Les sables qui constituent les tangues contiennent : les débris des terrains qui ferment les côtes de la Basse-Normandie ; des coquilles broyées par la mer, et dans certaines localités, à l'embouchure des rivières, une certaine proportion d'alluvions d'eau douce.

Au moment de leur extraction ils sont imprégnés d'eau de mer, et par conséquent de sels alcalins : on considère le sel marin comme nuisible, ou du moins peu utile à la végétation, car les tangues ne sont employées que plusieurs mois après leur extraction, et doivent perdre, sous l'influence des pluies, la plus grande partie de leurs sels solubles.

On doit chercher dans les tangues :

Le sable quartzeux et micacé, le carbonate de chaux pulvérulent, les débris de coquilles qui contiennent un peu de phosphate de chaux ; l'argile et l'oxyde de fer ; les matières organiques et les sels alcalins, dont la proportion est toujours très-faible.

L'analyse doit être précédée d'un examen à la loupe, ou même au microscope, afin qu'on puisse par là reconnaître la nature et l'état physique des matières diverses, principalement du carbonate de chaux et des coquilles. Les faits, cités par M. Is. Pierre dans son mémoire, semblent prouver que l'effet utile des tangues est en grande partie mécanique, et par suite on doit attacher

(1) *Études sur les engrais de mer des côtes de la basse Normandie ;* par M. Is. Pierre. Caen, 1852.

à l'examen préalable de l'état physique presque autant d'importance qu'à l'analyse exacte.

Analyse. — On détermine l'eau hygrométrique par une dessiccation à la température de 100°.

On dose ensemble l'eau, l'acide carbonique et les matières organiques, par un grillage au rouge sous la moufle d'un fourneau de coupelle.

On constate la présence de l'azote en chauffant dans un tube avec du potassium métallique, et mettant ensuite en présence d'une dissolution contenant les deux chlorures de fer. Assez ordinairement ce procédé indique seulement des traces d'azote; dans le cas contraire il faudrait employer pour le doser les procédés ordinaires de l'analyse organique.

Il n'est pas utile d'évaluer la proportion des matières organiques, et de faire le dosage spécial de l'acide carbonique. Les premières sont en trop faible quantité, le second ne peut pas être considéré comme actif dans la végétation.

On traite 3 grammes de tangue par l'acide azotique, on évapore à sec et on reprend par le même acide : la partie insoluble et la liqueur sont analysés comme je l'ai déjà indiqué plusieurs fois. Dans le résidu on s'attache principalement à déterminer la silice soluble dans une dissolution faible de potasse, à évaluer l'état physique du sable micacé et la proportion de l'argile.

Dans la liqueur azotique on dose la chaux, l'alumine et l'oxyde de fer, on constate la présence ou l'absence de la magnésie. Les alcalis et l'acide phosphorique sont en proportion trop faible pour qu'on puisse en faire la détermination, en opérant sur 3 grammes de matière.

Pour les alcalis on traite par l'eau 25 grammes de tangue; on évapore à sec (en terminant l'évaporation dans une capsule de platine tarée), et on prend le

poids des sels alcalins. Comme l'alcali contenu est toujours la soude, il suffit de dissoudre de nouveau dans l'eau et de doser l'acide sulfurique et le chlore sur deux fractions de volume total de la dissolution.

Pour l'acide phosphorique on emploie la méthode ordinaire de l'acide sulfurique, du sulfate d'ammoniaque et de l'alcool ; on opère sur 10 grammes de tangue ; on traite par l'acide azotique très-faible ; dans la dissolution on met de l'acide sulfurique, et on applique la méthode comme je l'ai déjà indiqué précédemment.

Le dosage de l'acide phosphorique ne peut pas être considéré comme exact, à cause de la très-forte proportion de sulfates insolubles, qui sont très-difficiles à laver par l'alcool, en raison surtout du peu de netteté que présente la précipitation du phosphate double de magnésie et d'ammoniaque.

L'analyse d'une tangue est donc très-longue et difficile, et son utilité est toute scientifique. Il est nécessaire de connaître toutes les substances qu'elle contient, pour pouvoir se rendre compte du mode d'action sur la végétation.

D'après M. Is. Pierre, la tangue paraît agir sur le sol principalement par le carbonate de chaux, le sable et l'argile ; par conséquent la comparaison des tangues au point de vue commercial peut et doit être faite plus rapidement que par des analyses complètes.

L'essai rapide comprend les opérations suivantes :

1° Un grillage sous la moufle ; on détermine ainsi toutes les matières volatiles, eau, acide carbonique et substances organiques.

2° Une attaque par l'acide azotique très-étendu ; le poids de la partie insoluble donne le dosage du sable micacé et de l'argile ; on l'examine à la loupe ou au microscope, afin d'évaluer approximativement l'état

physique et la proportion du sable quarzeux, du mica et de l'argile. On détermine les chaux par différence entre les poids de cette partie insoluble et de la tangue grillée sous la moufle.

3° Un examen au microscope, pour estimer la proportion plus ou moins grande des débris de coquilles.

4° La pesée d'un volume déterminé de tangue, au moment de son extraction et au moment de son emploi. Il y a toujours une différence notable entre ces deux poids, parce que les tangues foisonnent notablement par leur exposition à l'air. M. Is. Pierre l'attribue à l'exfoliation des fragments de coquilles.

§ II. *Des engrais contenant en même temps des sels minéraux et des matières organiques.*

On emploie maintenant comme engrais les substances les plus diverses ; les fumiers, les urines, les poudrettes, le guano, le sang desséché, etc..... La même méthode d'analyse ou d'examen chimique peut servir pour toutes, ce qui me dispense de les considérer séparément.

Il faut déterminer dans un engrais :

1° Les sels minéraux ;

2° L'azote et la matière organique ;

3° Le mode de décomposition lente sous l'influence des agents atmosphériques

Les sels minéraux ne peuvent être déterminés qu'après la destruction complète de la matière organique ; j'ai déjà exposé précédemment que ce résultat ne peut être obtenu que par le grillage sous la moufle, opération qui expose à des pertes notables et modifie beaucoup l'état de combinaison des matières minérales.

Il en résulte une incertitude sur la proportion et l'état

chimique des sels minéraux contenus dans les engrais. Aussi dans le tableau de l'analyse, doit-on intituler cette partie des résultats : *Composition des cendres données par l'engrais.*

Ce que j'ai dit précédemment pour l'analyse des cendres végétales s'applique également à l'analyse des cendres des engrais. La seule différence est dans la nature de la partie insoluble dans l'eau et les acides ; elle contient quelquefois une assez forte proportion de sable et argile, qui doivent être évalués par un examen au microscope, ou bien par fusion avec du carbonate de soude.

Les substances minérales, dont le dosage me paraît le plus important sont : la silice attaquable, l'acide phosphorique, la chaux et les sels alcalins.

Le dosage de l'azote et des matières organiques présente souvent de grandes difficultés. La première résulte du peu d'homogénéité de certains engrais, par exemple des fumiers. On ne sait véritablement pas de quelle manière choisir pour l'analyse une prise d'essai, d'un poids toujours très-limité, et qui représente à peu près la composition moyenne d'un grand tas de fumier. Il ne faut donc pas négliger de noter dans quelles conditions a été pris l'échantillon, afin que les résultats de l'analyse puissent être interprétés dans leur sens véritable.

La seconde difficulté réside dans l'état de décomposition plus ou moins avancée des matières organiques, et dans la nécessité de sécher et de bien diviser les engrais avant de procéder au dosage de l'azote. Tous les procédés de dessiccation exposent à des pertes notables d'ammoniaque, produite par la décomposition de la matière azotée.

Enfin une troisième difficulté se présente pour le

dosage des autres éléments, carbone, hydrogène, oxygène, de la substance organique, en présence des sels minéraux, dont la nature n'est pas connue, et qui peuvent donner, eux aussi, de l'eau et de l'acide carbonique.

En raison de ces difficultés on doit évaluer approximativement la proportion des matières organiques par une fusion avec un excès de litharge. Les quantités de plomb métallique obtenu ne peuvent avoir de signification qu'autant qu'on aura fait un certain nombre d'expériences (comme M. Berthier l'a fait pour les substances organiques qui se trouvent ordinairement dans les terres) pour déterminer la proportion de plomb que donnent, avec la litharge, les matières organiques des différents engrais.

Pour le dosage de l'azote, il est nécessaire de modifier un peu la disposition ordinaire de l'analyse organique : il faut introduire dans une petite cornue en porcelaine un poids déterminé de l'engrais, mélangé avec de la chaux en poudre; verser au moyen d'un entonnoir très-long un excès d'une dissolution très-concentrée de potasse caustique; adapter l'appareil contenant l'acide chlorhydrique, destiné à recueillir l'ammoniaque; et chauffer très-progressivement jusqu'au rouge sombre.

On dose ensuite l'ammoniaque absorbée par l'acide chlorhydrique, soit à l'état de chlorure double de platine et d'ammoniaque, soit par le procédé acidimétrique, employé avec succès par M. Boussingault dans ses savantes recherches sur la végétation.

Jusqu'à présent on a fait très-peu d'expériences sur le mode et la rapidité de décomposition des engrais, soumis à l'influence des agents atmosphériques. Cette question est cependant d'une très-grande importance,

pour la proportion d'engrais azotés qu'il faut employer pour une culture déterminée, aussi bien que pour les intervalles de temps, après lesquels les terres doivent recevoir de nouveaux engrais.

Le but que les agriculteurs doivent se proposer est d'employer les engrais dans des conditions telles que le moins possible des matières utiles soit perdu, et pour cela il leur est indispensable de connaître pendant combien de temps il peut y avoir production de sels ammoniacaux, et quelle est la proportion produite dans un temps donné, et dans les circonstances atmosphériques ordinaires.

Il est certainement impossible de disposer des expériences de laboratoire dans des conditions identiques avec celles de l'agriculture; cependant on pourrait obtenir des résultats très-utiles en opérant de la manière suivante :

On prendrait un volume considérable de terre assez homogène, qu'on diviserait en douze ou quinze parties égales, placées dans de grandes capsules de porcelaine. Dans chacune on mélangerait avec la terre le même poids d'un engrais déterminé : toutes les capsules seraient exposées en plein air dans la même position; à des intervalles réguliers, par exemple tous les mois, on traiterait par l'eau la matière contenue dans une des capsules, et on déterminerait la proportion d'ammoniaque dissoute.

Ces expériences prendraient un temps considérable, parce qu'il faudrait les répéter avec les principaux engrais employés, et pour les différentes espèces de terres : mais leur utilité me paraît assez grande pour qu'on ne soit pas arrêté par leur longueur.

Les engrais sont assez chers, et sont employés en quantités assez grandes, pour qu'on ait lieu de craindre

des falsifications : l'examen au microscope peut, dans certains cas, faire connaître immédiatement la fraude; mais, si cet examen est insuffisant, il faut nécessairement doser l'azote et constater la nature des matières minérales, et la proportion de celles qui sont considérées comme actives, la silice, l'acide phosphorique, la chaux et les alcalis.

D'autres procédés plus rapides ont été proposés, mais ils sont insuffisants et ne donnent aucun résultat certain.

ÉTUDES SUR LE DRAINAGE EN FRANCE,

DANS SES RAPPORTS AVEC LA MÉTÉOROLOGIE ET LA GÉOLOGIE.

Par M. H. DE VILLENEUVE,
Ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

Considéré au point de vue le plus large, le but des travaux de drainage est de supprimer les eaux pluviales stagnantes et les écoulements torrentiels.

C'est en rendant perméables les terrains privés de cette propriété que ce but est atteint; les filtrations régulières et plus ou moins ralenties remplacent ainsi les amas d'eau qui s'établissaient sur les terrains argileux, les ravinements et les enlèvements des parties les plus ténues et les plus fertiles qui s'opéraient sur les sols imperméables inclinés.

Les résultats les plus immédiats de ces opérations sont de rendre possibles les cultures fourragères à racines pivotantes là où les eaux surabondantes du sol les rendaient impossibles. La culture perfectionnée avec ses assolements peut alors s'établir avec succès et profit.

Les conséquences agronomiques et financières du drainage sont donc renfermées, non point dans la quantité de gerbes de plus que rend un terrain drainé, soumis à une mauvaise rotation de céréales, sans culture fourragère intercalée, mais de ce fait agronomique bien autrement fécond : le drainage rend possible les lucratives rotations agricoles fondées sur l'alternance

des meilleures cultures fourragères. C'est là une amélioration qui, en France, vaut moyennement 40 francs de revenu par hectare.

La conséquence hygiénique du drainage, l'assainissement qu'il établit dans l'atmosphère, sont un bien supérieur à tous les calculs, mais qui se traduit aussi en chiffres. La propriété a toujours plus de valeur vénale là où la population peut s'accumuler : les travailleurs plus vigoureux et plus nombreux donnent plus de travail pour un même nombre d'heures.

L'amélioration du cours des eaux, la multiplication des sources artificielles remplaçant les barrages, les mares, les étangs artificiels; les irrigations devenant ainsi plus faciles, les inondations moins désastreuses, la navigation plus régulière, les dérivations moins chères et le débit des canaux plus régulier. Voilà les conséquences graves d'un drainage largement exécuté.

Les irrigations elles-mêmes peuvent devenir plus faciles, si l'on introduit de l'eau filtrée dans les drains qui propageront l'humidité dans le sol, sans accroître la compacité de la superficie et qui permettront l'introduction et l'émission successive de l'air atmosphérique dans le sol.

L'irrigation par le drainage permettrait ainsi de réaliser le mieux possible les effets de cette circulation d'air dans la terre si bien indiquée dans l'excellent travail de M. Barral.

Pour reconnaître les lois du drainage en France :

1° Nous allons les examiner d'après les observations faites en Angleterre;

2° Puis nous passerons en revue les observations faites sous le climat de Paris;

3° Nous aborderons ensuite les observations et les lois du drainage faites sous le climat des rives de la Méditerrannée;

4° Et nous déduirons les conséquences qui s'appliquent au reste de la France.

Voyons d'abord la distribution des pluies des climats comparés de la France d'après M. Martins :

CLIMATS.	PLUIES.	QUANTITÉ RELATIVE.			
		Hiver.	Printemps.	Été.	Hiver.
	millim.				
Séquanien	548	21	22	30	27
Vosgien	669	19	23	31	27
Rhodanien	946	20	24	23	33
Girondin	586	25	21	23	33
Méditerranéen	651	25	24	11	40

Comme on le reconnaît à la première inspection de ce tableau, M. Martins a divisé la France en cinq régions climatoriales :

Le climat *séquanien*, bassin de la Seine, type principal ;
Le climat *vosgien*, bassin du Rhin et de la Moselle ;
Le climat *rhodanien*, bassin du Rhône au-dessus de Lyon ;
Le climat *girondin*, bassin de la Gironde ;
Le climat *méditerranéen*, bord de la Méditerranée.

Nous aurions désiré voir séparer, en outre, le climat du plateau central de la France dont l'altitude et la situation moyenne font un type spécial.

Les cinq types que nous rappelons sont séparés d'une manière assez distincte par leur distribution différente de la saison des pluies.

Le pluies règnent spécialement, en été, dans les climats *séquanien* et *vosgien*.

Dans le climat *méditerranéen*, elles règnent essentiellement en octobre et en mai. C'est le climat le plus nettement opposé à celui du bassin de la Seine.

Le climat *girondin* a des caractères analogues à celui des bords de la Méditerranée. C'est la sécheresse de

l'été et du printemps qui forment ce caractère commun.

Il est à remarquer que le groupe ainsi formé par les deux climats à été sec offre les deux régions vinicoles les plus importantes. Dans le Bordelais, la saison la plus sèche devient le printemps; mais l'été reste néanmoins moins pluvieux que l'hiver et l'automne.

Le climat *rhodanien* se place d'une manière intermédiaire. L'hiver est moins sec que l'été, mais l'été est moins humide que le printemps et l'automne. C'est la troisième région vinicole. Ce climat se signale aussi par un chiffre total de pluies supérieur à celui de toutes les autres régions.

Le climat séquanien se rapproche, par la dose des pluies annuelles et par leur distribution, de celui de la Tamise.

C'est donc, après le climat anglais et les lois du drainage qui s'y rattachent, le climat séquanien que ses analogies devront porter à étudier le premier.

Le climat méditerranéen est celui qui contraste le plus avec le climat de Paris. Les pluies abondantes au printemps et surtout en automne font presque complétement défaut en été.

Après avoir mis en évidence les lois qui, au point de vue du drainage, lient le climat des rives de la Méditerrannée à celui des bords de la Seine : il sera facile de voir quels sont les rapports des autres climats de la France avec ce dernier.

Lois météorologiques du drainage en Angleterre.

I. Les lois de la filtration et de l'évaporation des eaux fournies à la terre par l'atmosphère sont la base rationnelle des travaux de drainage; il faut, en abordant ces travaux, résoudre la question suivante :

Quelle est la nappe d'eau absorbée dans chaque cli-

mat par les terrains perméables analogues aux terrains drainés ? Quelle partie d'eau pluviale est enlevée par l'évaporation ?

Dans le climat même de l'Angleterre, sur le sol où le drainage est si largement et si habilement pratiqué, ce problème semble encore enveloppé d'épais nuages, même après les travaux de Dalton, de Dickenson et de Charnock.

Voici les données fournies par ces observateurs :

Divergence des observateurs anglais sur la filtration et l'évaporation des eaux pluviales.

NOMS des observateurs.	QUANTITÉ de pluie.	ÉVAPORATION de la terre.	FILTRATION absolue.	FILTRATION p. 100 de pluie.
	millim.	millim.	millim.	
Charnock.....	629	503	126	20
Dalton.....	852	638	214	25
Dickenson.....	665	381	284	44

Les divergences ne sont-elles pas énormes ?

Les observations faites chez M. de Courcy, dans le département de Seine-et-Marne, ne signalent pas moins de variations pour le sol drainé en France. Les différentes années donnent des résultats qui ne semblent pas comparables et compatibles avec une loi régulière.

ANNÉES.	QUANTITÉ de pluie.	ÉVAPORATION de la terre.	FILTRATION absolue.	FILTRATION p. 100 de pluie.
	millim.	millim.	millim.	
En 1851.....	518	453	65	12 1/2
Décembre 1851 à décembre 1853....	570	375	195	34
		Moyenne.	130	

La loi de ces variations se revèle lorsqu'on compare la courbe des pluies distribuées dans les divers mois de l'année avec celle de l'évaporation de la terre exprimée en millimètres ; nous prenons pour ordonnées les millimètres d'eau tombée ; les intervalles des mois correspondants sont figurés par les abscisses.

Le même procédé appliqué à la représentation de

l'évaporation de la terre donne une courbe intérieure à celle des pluies, et la différence des ordonnées des deux courbes représente la filtration.

On reconnaît ainsi (1), comme loi générale, que la filtration est abondante pour tous les mois pluvieux et froids; qu'elle est très-faible pendant les pluies estivales : l'évaporation de la terre humectée disperse une proportion d'eau qui croît rapidement avec la température.

MOIS.	NOMS DES OBSERVATEURS.	PLUIE.	ÉVAPORATION.	FILTRATION
		millim.	millim.	millim.
Janvier. . .	Dickenson.	46,9	13,7	33,2
	Charnock.	47,7	28,9	18,8
	Dalton.	62,4	25,6	36,8
Juillet. . . .	Dickenson.	58,1	57,0	1,1
	Charnock.	79.2	72,6	6,6
	Dalton.	105,5	104,0	1,5

Puisque l'évaporation du sol croît avec la dose d'eau de pluie estivale, dans un même climat, l'évaporation de la terre sera d'autant plus forte que la proportion d'eau tombée pendant la saison chaude sera plus considérable. C'est précisément le cas que présentent les observations de Dalton.

Réciproquement, la filtration qui n'est, en général, que le complément de l'évaporation sera plus faible dans les années à pluies d'été abondantes, et plus forte lorsque surviendront d'abondantes pluies hibernales. C'est ainsi que dans les observations de Dickenson les pluies de l'année s'étant principalement concentrées en octobre et novembre ont amené pendant ces mois-là des filtrations très-abondantes.

(1) M. Mangon, dans ses excellentes *Études sur le drainage*, avait déjà signalé l'accord des observations de Dalton et Dickenson pour le mois de février et aussi pour les mois de juin, juillet, août et septembre.

Ainsi s'expliquent, par les effets de la distribution des pluies, et la remarquable évaporation de la terre signalée par Dalton, et l'énergique filtration constatée par Dickenson.

N'est-on pas ainsi conduit à voir que si les pluies prenaient des abaissements et des accroissements réguliers, parallèles aux variations de la température, d'un mois à l'autre, l'évaporation du sol pourrait suivre ces variations, de manière que l'évaporation marchant parallèlement aux pluies, les filtrations définitives fussent très-affaiblies? C'est le cas que présentent les observations suivantes de Charnock :

MOIS	PLUIE.	ÉVAPORATION de la terre.	FILTRATION
	millim.	millim.	millim.
Mai	47,0	42,1	4,1
Juin	52,3	49,6	2,7
Juillet	79,2	72,6	6,6
Août	79,2	72,6	6,6
Septembre	69,9	34,0	5,9

Autre conséquence : la courbe *limite supérieure* de celles que peut présenter, dans un climat donné, l'évaporation de la terre doit être la courbe de l'évaporation du sol entretenu *saturé d'eau*, tel qu'on l'obtiendrait sous l'influence de pluies quotidiennes.

Une même figure, où nous avons réuni les courbes d'évaporation de la terre observées par *Dickenson*, *Charnock* et *Dalton*, nous montre que ces lignes ont pour limite commune générale la courbe d'évaporation du sol saturé telle qu'elle est fournie par les observations de Charnock.

Les observations de Dalton se rapportent à des années pluvieuses qui donnent une courbe d'évaporation de la terre très-voisine de la courbe d'évaporation du sol *saturé* résultant des observations de Charnock.

MOIS.	ÉVAPORATION de la terre saturée. — CHARNOCK.	ÉVAPORATION de la terre. — DALTON.	DIFFÉRENCE.
	millim.	millim.	
Septembre.....	72,4	74,9	+ 1,9
Octobre.....	63,5	67,8	+ 4,3
Novembre.....	51,0	51,9	+ 0,9
Décembre.....	42,4	37,7	— 4,7
Total.....	230.3	232,3	2,0

La différence des deux sommes n'est que 2 millimètres sur 232.

Il n'y a de différence, ou plutôt d'écart sensible, que dans les mois de juin et de mars, ceux de sécheresse relative dans la période observée par Dalton. Ainsi, les différences elles-mêmes confirment les analogies ; elles sont la conséquence des mêmes lois, puisque l'évaporation de la terre observée par Dalton ne s'éloigne de l'évaporation de la terre *très-humide* observée par Charnock que pour les périodes où la terre cesse d'être humide dans les observations de Dalton.

Ainsi, les observations de Charnock, Dalton, Dickenson, perdent, sous un œil attentif, leurs apparentes anomalies relatives à la filtration des sols perméables et à l'évaporation de la terre humectée par les pluies. La courbe d'évaporation de la terre saturée de Charnock est généralement inférieure à la courbe d'évaporation de l'eau pure. Il est tout naturel, en effet, que la vapeur d'eau s'échappe plus facilement lorsqu'elle n'est pas retenue par une affinité pareille à celle qu'exerce la terre sur l'eau, affinité qui va jusqu'à faire condenser une quantité notable de la vapeur d'eau atmosphérique.

Parallèle des deux courbes d'évaporation de l'eau pure et de la terre saturée.

Cette marche correspondante des deux courbes doit cependant présenter des constrastes : l'affinité de l'eau pour la terre est combattue par la chaleur enmagasinée

dans le sol, et par l'excès de chaleur que manifeste le sol soumis à la radiation. Ce dernier phénomène, sur lequel M. de Gasparin a judicieusement fixé l'attention des agronomes, peut donner au sol relativement à l'air, des excès de température s'élevant, d'après les observations de Schubler faites sur la terre humide, jusqu'au chiffre de 12 degrés, et atteignant à 19 degrés pour la terre desséchée. L'eau pure reste en retard relativement à l'échauffement de la terre; ce retard devient, surtout, sensible lorsqu'une certaine provision de chaleur est accumulée dans le sol. Ainsi, l'infériorité de l'évaporation du sol relativement à celle de l'eau pure, est prononcée surtout dans les premiers mois de l'année, lorsque la terre n'a point encore subi un long échauffement; tandis que, dans la seconde partie de l'année, l'évaporation de la terre atteint et dépasse même un instant celle de l'eau. Au surplus, c'est si bien le phénomène de la radiation qui est ici en jeu, que la courbe d'évaporation de l'*eau pure* à l'*ombre*, construite sur les observations de Charnock, est constamment intérieure à la courbe d'évaporation du *sol saturé* exposé au *soleil*.

On voit donc très-bien, à l'aide de l'influence de la radiation, que dans le mois d'octobre, où de fortes pluies avaient saturé l'atmosphère, dans les expériences de Charnock, la vaporisation de l'eau pure ait pu descendre beaucoup et offrir une inflexion dans cette partie de la courbe, tandis que la radiation pouvait faire naître un échauffement dans l'air en contact avec la terre, amener ainsi une sécheresse relative de l'air et un excès de vaporisation sur cette même terre échauffée.

Les mêmes considérations s'appliquent aux observations faites à Genève par Maurice, où la terre drainée a donné, pendant les mois de décembre, janvier et fé-

vrier, une vaporisation supérieure à celle de l'eau pure. Pendant ces mois, la forte proportion d'eau filtrée indiquait une atmosphère saturée et qui n'a pu recevoir de nouvelles vapeurs d'eau que là où elle était échauffée sous l'influence de la radiation du sol.

Les diverses inflexions de la courbe d'évaporation de l'eau pure contrastent, en général, avec le degré d'hygrométrie indiqué par les pluies. Dans les observations de Charnock, la plus forte vaporisation de l'eau pure correspond aux mois de saison chaude les plus secs, aux mois de *juin* et de *mai*. Le mois d'avril, très-pluvieux, a fait infléchir et abaisser la courbe d'évaporation de l'eau pure à l'ombre.

Les mois d'août et de juillet ont été, pour Charnock, ceux d'humidité maximum; ils ont fait abaisser la vaporisation de l'eau relativement à *juin* et *mai*, de sorte qu'en général pendant la saison la plus chaude les inflexions de la courbe d'évaporation d'eau pure et celles de la courbe des *pluies* sont opposées, tandis que les inflexions de la courbe d'évaporation de la terre s'accordent et s'harmonisent avec la courbe des pluies, parce que la vaporisation dans le sol dépend essentiellement de la dose d'eau qu'il a reçue.

Pendant les mois d'hiver, offrant de fréquentes gelées blanches, la terre rayonnant avec l'espace se refroidit plus que l'eau et l'abaissement de température sera d'autant plus fort que l'hygrométrie extérieure sera plus faible. La diminution des pluies d'hiver peut donc se mettre en harmonie avec la diminution d'évaporation. C'est ce qui apparaît dans les dépressions qu'éprouvent simultanément, dans les observations de Charnock du mois de février, les courbes d'évaporation de la *terre*, de la *terre saturée*, de l'eau *pure*, à l'*ombre* et au *soleil* et la courbe des *pluies*.

La diminution de l'évaporation de la terre peut aller jusqu'au point où l'évaporation devient *négative*, c'est-à-dire que la terre refroidie peut condenser la vapeur d'eau de l'atmosphère. La filtration peut alors produire plus d'eau que la pluie n'en a livré. Ce cas se présente dans les observations de sol drainé faites par Dickinson, au mois de décembre.

En comparant la dose d'eau de drainage recueillie chez M. de Courcy (Seine-et-Marne), pendant les mois de février et mars 1850, nous retrouvons l'eau de filtration supérieure à l'eau pluviale, et précisément les mois de février et mars 1853 ont été remarquables par leurs gelées !

Ainsi les sols drainés offrent, tour à tour, les signes d'un échauffement supérieur à celui de l'eau et à celui des terres non drainées et celui d'un refroidissement plus énergique ; ce sont les champs qui éprouvent le plus facilement les vicissitudes météorologiques. Ainsi les circonstances de la distribution des pluies et de la chaleur, la radiation et le refroidissement expliquent très-bien la différence des résultats obtenus par les observateurs anglais.

On trouve le *maximum de filtration* chez Dickinson, parce que les pluies d'été ont été peu abondantes, que celles de septembre, octobre et novembre ont été violentes, et qu'il y a eu en décembre froid et humidité.

Il y a maximum d'évaporation dans les observations de Dalton, parce que les pluies d'été ont dominé et que la chaleur de l'hiver même a été modérée : il faut bien qu'il y ait eu un hiver tiède pour que le mois de décembre ait pu fournir 82 millimètres d'eau (1).

(1) Les pluies d'hiver échauffent l'atmosphère et élèvent la température moyenne mensuelle ; les pluies d'été produisent un effet contraire.

Enfin il y a eu la plus *faible filtration* chez Charnock, parce que l'accroissement et le décroissement des pluies ont marché, comme les variations de température, depuis mai jusqu'en septembre, c'est-à-dire pendant toute la belle saison.

Faut-il s'étonner, ensuite, de ce que dans dix mois d'observation sur un sol drainé, un autre auteur anglais n'ait trouvé que 50 millimètres d'eau livrée par le drainage? C'est la distribution des pluies en une telle année et sur un tel lieu qui seule peut donner la clef des phénomènes. Quelle est donc la limite qui permettra de prédire la filtration possible ou impossible avec tel régime de pluies déterminé? Ce sont les pluies qui dépasseront la plus forte évaporation observée qui seules donneront certainement des filtrations. Or, si l'évaporation limite est, pour le climat anglais, la courbe d'évaporation de la terre par Charnock qui donne une évaporation totale annuelle de 791 millimètres, il est bien évident que cette courbe, embrassant un ensemble de pluies supérieur au total de l'eau pluviale ordinaire, ne peut jamais rencontrer les courbes pluviales, de manière à mettre en évidence la période de filtration à l'aide des intersections des deux lignes.

Détermination des périodes de filtration par une construction graphique.

La courbe d'évaporation de la terre de Dalton est réellement la plus haute valeur trouvée en Angleterre au chiffre de l'évaporation de la terre, et cette valeur de 638 millimètres est encore supérieure à la pluie de 629 millimètres, telle que celle observée par Charnock. Ainsi la courbe d'évaporation de la terre par Dalton sera le type que nous comparerons aux courbes pluviales pour reconnaître les époques de filtration, et ce type doit pécher plutôt par excès de grandeur que par petitesse.

En superposant la courbe d'évaporation de Dalton à

la courbe pluviale de Dickenson, on reconnaît que la courbe de Dalton pénètre dans la courbe pluviale de septembre à janvier, et de janvier à avril : ce sont, en effet, les époques des filtrations principales observées par Dickinson.

La courbe d'évaporation de Dalton, appliquée pareillement sur la courbe des pluies de Charnock, démontre les filtrations les plus abondantes de janvier à la mi-avril, signale ensuite les filtrations vers la fin de l'année.

Ainsi, la courbe d'évaporation de Dalton offre une indication suffisante des pluies donnant, en Angleterre, les filtrations les plus abondantes. Non-seulement, donc, les observations anglaises sur les lois physiques du drainage ne sont pas en contradiction, mais encore les filtrations peuvent être d'avance signalées d'après un type commun, qui sert à déduire la filtration de la connaissance des eaux pluviales.

Quant au chiffre moyen des filtrations dans les terrains drainés en Angleterre, il oscille entre les chiffres suivants, correspondant à différentes années et à différentes localités :

	millim.	Périodes.
Dickinson.	284	de 1836 à 1843 (huit ans).
Dalton.	214	de 1796 à 1798 (trois ans).
Charnock.	126	de 1842 à 1846 (cinq ans).
Milne.	52	de 1848 à 1849 (dix mois).

L'observation de Milne relative à une moindre période, ne doit être prise qu'avec la valeur correspondante à une année d'observation ; en tenant compte de la longueur de chacune des périodes, on aurait 212 millimètres pour filtration moyenne annuelle. Ce chiffre est très-peu différent de la moyenne 208 millimètres obtenus immédiatement à l'aide des observations de Dickinson, Charnock et Milne.

On peut donc considérer la filtration moyenne en

Angleterre comme représentée par. . . . 21,0 centimètres (nombre rond).

L'évaporation moyenne par. . . . . 50°,5

et la pluie moyenne par. . . . . 71°,5.

La comparaison des trois courbes d'évaporation de Dalton, Dickenson et Charnock, conduit à un rapprochement remarquable; la courbe Dalton est la *limite supérieure* de l'évaporation, c'est la courbe *enveloppe* des deux autres; la courbe de Dickinson est la *limite inférieure* et la courbe Charnock est la moyenne entre les deux autres. La limite supérieure à toutes les autres est la courbe d'évaporation de la terre saturée, construite sur les observations de Charnock.

De sorte que les années à été très-pluvieux tendent vers l'évaporation *Dalton*.

Et les années à *été sec*, vers la courbe *Dickinson*, qui n'est autre chose que la première courbe tronquée vers sa partie ascendante; et elle n'est tronquée que parce que l'alimentation de l'humidité du sol par la pluie a été insuffisante.

Ainsi la courbe d'évaporation de Dalton est, pour la région anglaise, le type le plus général de l'évaporation du sol, c'est le seul dont on puisse faire faire usage pour déterminer les doses de pluies, qui, dans un mois déterminé, peuvent dépasser l'évaporation possible et faire naître des filtrations.

Si quelques filtrations exceptionnelles peuvent avoir lieu pour des pluies inférieures à celles qu'atteint la courbe de Dalton, cela est dû à ce qu'elles sont tombées avec une rapidité plus qu'ordinaire, et que l'évaporation a été d'une rapidité inférieure à celle de la chute de l'eau pluviale.

Mais d'un autre côté, l'évaporation de la terre saturée de Charnock montre qu'une pluie quotidienne pourrait offrir, sous le climat anglais, une dose totale

de pluies de 790^{m},6, sans laisser pour la filtration une seule goutte d'eau. Une pluie ainsi distribuée chaque jour pourrait atteindre, dans les mois de juin ou juillet, le chiffre de 110 millimètres, et pour les mois d'hiver, une dose mensuelle de 40 millimètres; ce qui permettrait, en moyenne à peu près par mois, un accroissement de 6 millimètres d'eau pour un degré thermométrique.

L'évaporation de la terre saturée de Charnock montre parfaitement que, dans le parallèle entre les pluies et la filtration, ce ne sont pas des rapports par quotient que l'on doit chercher, mais des relations par différence entre l'évaporation quotidienne et la dose de pluie quotidienne.

Quelque reprochables que soient encore les expériences des observateurs anglais sur les lois hydrométriques du drainage, leurs résultats bien discutés, n'en ont pas moins grandement élucidé la question des filtrations des eaux pluviales dans les sols drainés.

Filtration et évaporation sous le climat séquanien.

II. Quelle est la nappe d'eau qui représente l'évaporation de l'eau pluviale reçue par la terre? quelle est la moyenne filtration annuelle dans le bassin de la Seine?

L'évaporation de la terre saturée est, d'après les expériences de Charnock, la limite de l'évaporation de la terre mouillée par les eaux pluviales. Or, l'évaporation de la *terre saturée* est, d'après le résultat des observations de Charnock, très-voisine de l'évaporation de l'*eau pure*, en restant néanmoins un peu inférieure à cette dernière; et l'infériorité de l'évaporation de la terre saturée est surtout plus sensible pendant les premiers mois de l'année, où l'échauffement de la terre est en retard sur celui de l'atmosphère. Dans la seconde moitié de l'année, l'évaporation de la terre peut surpasser celle de l'eau pure, et d'autant plus que la chaleur estivale a été plus forte.

Or, sous le climat parisien, plus froid en hiver et plus chaud en été que celui de Londres, les gelées et le refroidissement nocturne font, en hiver, bien plus abaisser la courbe d'évaporation de l'eau pure, et par suite la courbe d'évaporation de la terre pendant les mois froids.

		millim.
L'évaporation de l'eau pure est en janvier, d'après Charnock		49
Bassin de Paris,	à Montmorency	17,5
—	à Troyes	21

La moyenne donne :

Pour l'Angleterre (janvier)	35
Pour les environs de Paris (janvier)	19,25

La marche de la courbe d'*évaporation* est d'ailleurs tout à fait analogue pour l'eau pure, entre le bassin de la Seine (Montmorency et Troyes) et l'Angleterre (Londres et observatoire de Charnock); de telle façon que la moyenne entre Montmorency et Troyes se confond, dans la partie élevée, avec la courbe d'évaporation de Charnock : la marche de la courbe d'évaporation de la terre dans le bassin de Paris, est plus déprimée vers les mois de la saison froide que celle de la courbe d'évaporation de l'eau pure. Ainsi, nous aurons donc pour la *terre* du climat de Paris, une évaporation maximum, si nous prenons pour limite l'évaporation de l'eau à Montmorency.

L'évaporation de la terre observée par Dalton est *supérieure*, de juillet à fin décembre, à l'évaporation de l'eau à Montmorency.

La courbe de Dalton n'est inférieure à l'évaporation de l'eau pure à Montmorency que pendant la première moitié de l'année, et en ce sens sa marche se rapproche des conditions que doit remplir l'évaporation de la terre.

Ainsi, toutes les analogies permettent l'emploi de la courbe de Dalton comme la figure de l'évaporation de la terre dans le climat de Paris.

Nous sommes ainsi conduits à déterminer la possibilité et les périodes des filtrations dans le climat séquanien en cherchant les intersections de la courbe de Dalton avec la courbe des pluies. Nous devons ainsi obtenir des indices de filtrations inférieurs à la réalité des phénomènes, puisque la courbe de Dalton représente une évaporation totale de 638 millimètres, chiffre qui dépasse la dose d'eau pluviale du bassin de la Seine, et qui excède conséquemment de beaucoup la dose d'eau pluviale enlevée par l'évaporation de la terre.

Il est facile de reconnaître ainsi que les deux années 1851 et 1853 ont donné lieu à des filtrations au commencement de chacune de ces années jusque vers le mois de mai. C'est précisément ainsi que les choses se sont passées dans le sol drainé de M. de Courcy.

Mais en prenant les chiffres que M. Barral a consignés dans son *Traité de drainage*, sur les écoulements quotidiens du drainage de Courcy, nous avons pu calculer les filtrations mensuelles et parvenir ainsi à tracer la courbe d'évaporation de la terre pour les premiers mois de 1851 et 1853.

La limite supérieure de la courbe d'évaporation a ses trois points principaux fixés par la condition de n'avoir fourni aucune eau de filtration pendant les mois de juin, juillet, août dépendant des trois années 1851, 1852, 1853. Donc, en ces mois-là, l'évaporation a dépassé les pluies, la courbe d'évaporation a enveloppé les éléments de courbes pluviales à ces diverses périodes. Cette condition, jointe à celle de représenter la moyenne des deux séries de filtrations connues, suffisent pour déterminer une courbe qui est d'ailleurs bien en harmonie avec la

courbe d'évaporation de l'eau pure observée à Troyes, et qui produit tous les délinéaments principaux de la courbe de Dalton : elle devient la limite *supérieure* de l'évaporation de la terre à Paris.

La limite inférieure de cette évaporation est une courbe très-dentelée.

La quantité des filtrations conclue des observations faites chez M. de Courcy est, comme nous l'avons déjà dit, 130 millimètres, chiffre voisin de celui calculé par les autres méthodes destinées à fixer cette même donnée. Il est à remarquer que la filtration de Paris se rapproche de la filtration la plus faible déterminée en Angleterre : celle obtenue par Charnock.

Les filtrations ont leurs périodes maxima, dans les observations de Dickenson et Dalton, pendant les pluies d'*automne*. Celles de printemps leur sont inférieures.

Dans les observations faites à Paris, au contraire, ce sont les filtrations de *printemps* qui l'emportent; nouveau rapprochement avec les résultats de Charnock où la filtration d'automne est inférieure à celle du printemps.

Au point de vue agricole, cette remarque est importante, l'humidité surabondante du *printemps* est encore plus nuisible aux récoltes que l'excès d'humidité de l'*automne*, et, à ce point de vue, le drainage des environs de Paris évacuant même une moindre dose d'eau dans toute l'année est appelé néanmoins à rendre d'aussi grands services.

Filtrations observées dans les terrains perméables du bassin de la Seine.

Abordons des observations bien plus larges et bien plus prolongées que celles des résultats du drainage de M. de Courcy, et voyons quel est l'ensemble de l'évaporation et de la filtration des eaux pluviales dans le bassin de la Seine. Les terrains naturellement perméables nous offrant le type vers lequel le drainage doit ramener les

sols et les sous-sols argileux, il nous sera facile de passer des résultats que la nature révèle en grand, à la mesure de ceux que l'art peut obtenir.

Quelle est l'étendue des terrains perméables dans l'ensemble du bassin de la Seine embrassant une superficie totale de 43.100 kilomètres quarrés?

Sol perméable.	kil. q.	*Sol imperméable.*	kil. q.
Granite grès lias. . . .	1.500	Granite grès lias. . . .	1.500
Granite oolite.	10.500	Marne de l'oolite. . . .	1.200
Grès vert et craie. . . .	6.600	Marne du grès vert. . .	3.400
Terrain tertiaire. . . .	8.000	Tertiaire argileux. . . .	8.000
Alluvion.	1.200	Alluvion argileux. . . .	1.200
	27.800		15.300

M. Belgrand, dans ses belles recherches sur la relation des terrains avec les crues des cours d'eau, attribue au sol perméable de la Seine une étendue plus grande, et ne laisserait au sol imperméable que 10.000 kilomètres quarrés. La différence principale des résultats de nos calculs tient à ce que nous voyons un caractère suffisant d'imperméabilité dans tous les sols tertiaires où des mares peuvent se former. Ainsi, nos sols imperméables tertiaires sont plus étendus que ceux de M. Belgrand. D'autre part, nous reconnaissons au sol sablonneux, granitique, une perméabilité suffisante pour classer dans les terrains granitiques la moitié de la surface en sol perméable.

Il est du reste évident que l'horizontalité des terrains exerce, au point de vue des crues des rivières examiné spécialement par M. Belgrand, une influence prépondérante, et que les terrains granitiques perméables, mais inclinés, participent par leur action sur les crues aux effets des sols imperméables, tandis que les plateaux tertiaires horizontaux imperméables retiennent les eaux

pluviales et ne les déversent que lentement comme s'ils étaient imperméables.

Le débit général annuel de la Seine, produit général des eaux torrentielles versées par les sols imperméables et des eaux filtrées débitées lentement par les sols perméables, équivaut à une nappe générale de 120 millimètres d'après les calculs de M. Dausse. L'évaporation moyenne sur les divers sols et pour une dose de pluies annuelles de 600 millimètres serait 480 millimètres.

L'étiage des rivières est alimenté par les écoulements les plus lents et les plus constants dus aux filtrations à travers les sols perméables; ainsi l'étiage des rivières représente le produit le plus régulier d'une partie des filtrations qui constituent les sources. Or, les sources à l'étiage ne représentent guère que la moitié du débit maximum ou les deux tiers du débit moyen. Pour avoir le débit moyen il faut ajouter une moitié à l'étiage.

Le débit de la Seine à l'étiage est 75 mètres cubes par seconde. Le produit des sources qui alimentent cette rivière est donc, en moyenne, $112^{me},50$ par seconde correspondant à 27.800 kilomètres quarrés de sol perméable.

Il faut donc pour produire un débit d'étiage de 1 mètre cube par seconde, $370^{kq},6$ de surface perméable.

Le débit annuel de 1 mètre cube par seconde est 31.536.200 mètres cubes.

Il correspond à une nappe de $85^{mm},2$ étendue sur la surface de $370^{mq},6$.

Le débit moyen des sources du bassin de la Seine représentant la moitié en sus du débit d'étiage atteint donc $87^{mm},2$ augmenté de moitié ou $127^{mm},5$ comme hauteur moyenne de la nappe d'eau filtrée dans les sols perméables, et par conséquent l'évaporation de l'eau y

serait en moyenne $472^{mm},50$ pour une pluie totale de 600 millimètres.

Au lieu de prendre l'ensemble des sources versées dans la Seine, mesurons les filtrations sur les plus importants des plateaux absorbants qui donnent naissance aux plus grandes de ces sources.

Les plus importantes des sources de la Seine sont : la *Soude-Somme*, la *Berle* et la *Cosle*, dont M. Belgrand a fait remarquer toute l'importance pour l'approvisionnement d'eau de Paris, et dont il a bien voulu nous communiquer le jaugeage avec cette obligeance qui le caractérise.

Or, ces sources sont formées sous un plateau crayeux très-absorbant, dont le bassin ne peut être apprécié qu'en traçant un périmètre qui sépare par une ligne équidistante leurs affluents de ceux des sources voisines. Ce bassin absorbant représente une surface de 711 kilomètres quarrés, et son débit d'étiage est $2^{mc},43$, ce qui donne pour 1 mètre cube d'étiage une surface d'absorption de $292^{mq},6$, chiffre qui ne diffère que d'un cinquième de celui obtenu par l'étiage de la Seine. Ici encore nous sommes conduits à admettre une nappe d'eau de filtration, *à l'étiage*, de $107^{mm},6$.

Le débit moyen correspondrait à une nappe de 161 millimètres. Deux causes peuvent avoir accru la filtration dans les sources du haut du bassin de la Seine : les pluies plus fortes dans cette région élevée, la température plus basse favorisant moins l'évaporation, enfin des pertes moindres par les épanchements des terrains voisins du bassin maritime.

En résumant toute cette discussion :

	millim
Le drainage de Courcy indique comme hauteur de la nappe d'eau filtrée.	150
La nappe universelle absorbée dans le bassin de la Seine.	120
Les sources du bassin de la Seine calculées sur l'étiage de cette rivière.	127.50
Enfin l'étiage de la Soude-Somme et sources voisines.	161

Ces nombres se rapprochent assurément de la filtration de 126 millimètres que Charnock avait déduit de ses expériences, et nous sommes invinciblement amenés à regarder ce chiffre *minimum* des filtrations du sol anglais comme représentant la moyenne des filtrations que le drainage peut absorber aux environs de Paris.

III. Nous allons examiner quelles sont les lois de la filtration et de l'évaporation des eaux pluviales pour le bassin méditerranéen, celui dont les pluies hivernales, dont le climat chaud et sec contrastent le plus fortement avec les pluies estivales des climats séquanien, vosgien et rhodanien. Il sera facile de se faire, après cela, une idée des filtrations et de l'évaporation sur l'ensemble de la France.

Lois de l'évaporation et de la filtration des eaux pluviales pour le climat méditerranéen.

Les lois de l'évaporation de la terre perméable ou drainée n'ont pas été étudiées, sous le climat de la Méditerranée, mais nous avons les lois de l'évaporation de l'eau pure consignées pour Orange, Marseille et Arles, dans le traité d'agriculture de M. de Gasparin. La quantité d'eau vaporisée au bout de l'année varie, dans ces diverses localités, entre 2m,25 et 2m,40. La vaporisation excitée par la ventilation énergique de la vallée du Rhône dessèche, chaque année, l'étang de Valcarès, dans le delta du Rhône, jusqu'à la profondeur de 1m.25 au-dessous du niveau de la mer. Elle fait même abaisser le niveau des étangs de la *Valduc* jusqu'à 9 mètres au-dessous du niveau de la mer.

Il y a dans cette région des pluies très-abondantes, très-rapides au printemps, plus abondantes encore en automne. Tous les terrains plats imperméables sont noyés. Puis vient, avec le mois de juin, une dessiccation qui se prolonge ordinairement jusqu'à la mi-septembre.

C'est ce qu'expriment très-nettement les observations de vaporisation de la terre que nous devons à M. Gasparin. Filtration ou écoulement superficiel jusqu'en mai sous l'action des pluies du printemps, dessiccation de trois mois, puis nouvelles filtrations, nouveaux écoulements dans la deuxième période de pluies.

Appliquant la courbe d'évaporation que nous avons construite sur les données de M. de Gasparin, aux courbes que nous avons tracées pour représenter les pluies d'Alais, de Draguignan et d'Orange, nous trouvons clairement indiquées dans ces divers points du climat méditerranéen les deux filtrations de mai et d'octobre, et la dessiccation de la saison d'été. La filtration d'octobre demeurant en général la plus considérable.

Quelle est la dose d'eau écoulée? quelle est l'eau filtrée? quelle est la part de l'évaporation dans la masse des eaux pluviales?

Interrogeons le débit des rivières et des sources.

CLIMATS.	RIVIÈRES.	ÉTIAGE.	Étendue du bassin.	Étendue du bassin correspondant à 1 m. cube.
			kil. q.	kil. q.
Méditerranéen.	Durance, à Mirabeau...	80 m. c. par seconde.	11.088	138.00
	Durance en hiver, étiage avant le Verdon....	65 mètres quarrés.	8.840	136.00
	Var.....	28 mètres cubes.	3.190	113.90
	Verdon, affluent de la Durance.....	10 mètres cubes.	2.248	224.80
Séquanien...	Seine.....	75 mètres cubes.	43.000	573.00

Rapport de la hauteur des nappes d'eau correspondant au débit de l'étiage:
Seine, 1; Verdon, 2.5; Durance, 4.2; Var, 5.

On voit de suite apparaître cette loi remarquable : Dans le midi, la masse d'eau pluviale que l'évaporation n'absorbe pas et qui s'écoule sous forme de filtration continue, ou sous l'aspect de cours torrentiel et dévastateur, est bien plus grande que dans le nord.

Mais quelle est la part de la filtration ? De tous les cours d'eau que nous venons de passer en revue, le Verdon est celui que les neiges éternelles influencent le moins, celui dont les eaux, ordinairement limpides, annoncent l'absence des orages si fréquents vers les sources du Var ou de la Durance, et la présence de sources régulières.

		TERRAIN imperméable.	TERRAIN perméable.	DOSE des pluies.
	kil. quarrés.	kil. quarrés.	kil. quarrés.	millimetres.
BASSIN DU VERDON.				
Lias.	62,25	62.25	»	
Calcaire, à Chamas. . . .	1.424,43	»	1.424.43	600
Craie.	404	404	»	
Tertiaire.	337,32	337,32	»	
Alluvion.	20	»	20	
	2.248	803,57	1.444,43	
Rapport.	»	3	5	
BASSIN DE LA DURANCE AVANT LE CONFLUENT DE VERDON.				
Primitifs.	135	135	»	
Lias.	5.277	5.277	»	100 à 120
Calcaire, à Chamas. . .	760	»	760 (a)	
Craie.	1.378	594	784	
Tertiaire.	1.090	550	540	
Alluvion	200	»	200	
	8.840	6.556	2.284	

(a) Dans cet ensemble figure la partie du terrain perméable du massif de Ventoux et Lure qui est placée sur le bassin de la Durance, à partir des rives du Largue.

L'étiage d'été dans le Verdon est de 10 mètres cubes par seconde, celui d'hiver étant d'environ 15 mètres cubes, tandis que dans la Durance, l'étiage d'hiver est

de 65 mètres cubes, d'après les évaluations les plus rationnelles basées sur l'étiage d'hiver mesuré à Mirabeau, de 80 mètres cubes par seconde, sur le Verdon et la Durance réunis.

Le produit des sources du Verdon correspond, pendant l'étiage d'été, à une *surface de terrain perméable* de 144 kilomètres carrés pour un mètre cube par seconde.

Surface de terrain perméable dans la Durance, 35 kilomètres carrés pour un mètre cube par seconde.

Dans le régime du Verdon, la filtration produite d'une même étendue de terrain perméable, offre le débit d'un volume d'eau beaucoup moins considérable que dans la Durance. Il y a en effet dans le régime de la Durance l'influence de la fonte des neiges qui se liquéfient en hiver au pied des montagnes, jointe à l'effet d'une plus grande abondance de pluies, et à celle aussi du produit des filtrations considérées dans leur étiage d'hiver supérieur à celui d'été.

Les choses en sont à ce point que les eaux de filtration dans la Durance représentent, en moyenne, près de 900 millimètres absorbés par la surface perméable, tandis que dans le bassin de la Seine, nous trouvons six fois moins, absolument comme les débordements de la Seine n'étant que quinze fois le volume d'étiage, les crues torrentielles de la Durance représentent jusqu'à cent fois l'étiage. Pour le Var, les excès signalés par la Durance sont encore plus prononcés.

Ainsi dans la Durance, dans le Var, les eaux torrentielles dues aux terrains imperméables, comme les eaux d'étiage dues aux filtrations des sols perméables, sont de beaucoup et beaucoup supérieures aux produits correspondants du bassin de la Seine.

Mais le Verdon est dans des conditions tout à fait comparables à celles du bassin de la Seine ; des deux

côtés, dans ces rivières, les sols perméables forment la plus grande masse, et ils sont aux terrains imperméables, dans le rapport de 5 à 3.

Si une partie des eaux de la Seine peut disparaître dans les masses de craie que rencontre son cours, la même influence ne se fait-elle pas aussi bien sentir sur le Verdon qui rencontre les terrains perméables depuis Castellane jusqu'au confluent près Mirabeau ? La pente qui facilite la fuite souterraine des eaux de la Seine vers la mer est de 30 mètres, elle est de 250 mètres au confluent du Verdon ! La distance de Paris à la mer est d'environ 150 kilomètres. Celle du confluent du Verdon à la mer vers Marseille, est moins du *tiers* de ce chiffre. Ainsi la fuite souterraine des eaux est favorisée dans le Verdon, aussi bien que dans la Seine, par le contact répété du terrain perméable; mais, dans le Verdon, cette fuite serait particulièrement facilitée par une chute presque décuple et par une distance moindre de la mer, au point du lit de rivière qui est mis en parallèle.

Le volume d'eau présenté par l'étiage du Verdon est donc celui des filtrations qui entrent dans son lit, appauvries par les mêmes causes, mais plus énergiques, que celles qui peuvent affaiblir les filtrations qui alimentent l'étiage de la Seine.

Ainsi ce n'est certainement pas grossir les filtrations du climat méditerranéen que de les considérer comme représentées dans leur rapport avec les filtrations dans le climat séquanien, par le rapport des étiages du Verdon et de la Seine pour une égale étendue de surface perméable, prise dans les deux bassins de ces rivières.

10 mètres du cube étiage du Verdon représentent les filtrations sur 1444 kilomètres carrés de terrain perméable.

75 mètres cubes étiage de la Seine correspondent aux filtrations sur 2.7800 kilomètres carrés. Donc :

1 mètre cube étiage Verdon repond à $144^{kg},4$, terrain perméable ;

1 mètre cube étiage Seine répond à $370^{kg},6$, terrain perméable.

Le rapport des filtrations du climat méditerranéen à celui des filtrations du climat Séquanien, est $\frac{370,6}{144,4}=2,57$.

De magnifiques sources s'échappent des flancs des montagnes calcaires du bassin méditerranéen et déversent sur le sol altéré le produit des filtrations des plateaux perméables. La plus célèbre de ces sources, Vaucluse, fait jaillir encore, après les longues sécheresses, un volume d'eau dont l'étiage moyen atteint le remarquable chiffre de 13 mètres cubes par seconde.

Le plateau absorbant d'où descend cette source, s'étend depuis Carpentras jusqu'à Sisteron, formant la base de l'imposante crête du Ventoux et du Lure, signalée par ses deux points culminants portés jusqu'aux altitudes de 1,911 mètres et 1.825 mètres. Ce grand plateau, incliné vers le sud, reposant sur des couches marneuses imperméables, offre une surface formée de calcaires à chama, criblée de fissures où les eaux pluviales sont immédiatement absorbées et abaissées jusque vers le fond du bassin intérieur que constituent les couches marneuses.

L'ensemble de ce grand plateau est divisé en deux parties par une faille dirigée suivant le système de soulèvement du Ténare, nord 18° ouest, qui vient passer par le détroit de Mirabeau, le volcan de Rougiers, les sources de Signes et Dardennes, le cap Brun, et le point le plus avancé de la ligne sans fond vers la rade de Toulon. Le prolongement septentrional de cette

ligne atteint le *Pas-de-Calais*, après avoir dominé le cours de l'Yonne.

La partie la plus considérable du massif du Ventoux incline vers l'ouest, porte ses eaux vers le Rhône, tandis que l'autre portion incline ses écoulements vers le bassin supérieur de la Durance, au-dessus de Sisteron. Nous avons déjà signalé ce massif perméable de 672 kilomètres carrés, en indiquant les filtrations du bassin de la Durance. Outre les eaux directement absorbées par la masse calcaire, le groupe occidental reçoit les filtrations de terrains tertiaires sablonneux, développés dans le golfe borné de calcaire à chamas, qui s'étend de Bédoin à Mourmoiron et Methasin. Il absorbe, aussi, toutes les eaux du cours de la Nesque.

Entre Apt et Vaucluse d'autres terrains tertiaires sablonneux versent leurs eaux dans les cavités calcaires qu'offre le cours du Calavon auprès d'Apt.

L'alimentation de la fontaine de Vaucluse s'établit :

1° Par le massif de calcaire à chamas, groupe occidental du grand plateau Ventoux et Lure.	945,00
2° Par le terrain tertiaire perméable de Bédoin. . .	112,00
3° Par le terrain tertiaire perméable des environs d'Apt.	179,50
Total.	1,121,50

Pour un mètre cube d'étiage, l'étendue du bassin absorbant est de 109 kilomètres carrés dans le système de la fontaine de Vaucluse.

Dans le département du Var, deux vastes plateaux calcaires dominent l'ensemble du département : l'un régnant depuis l'extrémité de Sainte-Victoire jusqu'au Var, dessine toute la région septentrionale élevée du département ; l'autre est caractérisé par le grand massif de la Sainte-Baume. Les terrains imperméables dépendant des trias soulevés au pied méridional de cha-

cun de ces plateaux, déterminent la venue au jour de toutes les eaux absorbées par filtration sur les deux plateaux calcaires. L'ensemble des sources a été jaugé par un observateur aussi habile que consciencieux ; il n'est échappé à ses mesures que les sources *sous-marines* d'Antibes, Cannes et Saint-Nazaire ; c'est à M. Bosc, géomètre en chef du cadastre du Var, que ces jaugeages sont dus.

L'ensemble des sources a fourni 31^{mc},36 à l'étiage, la surface absorbante totale, y compris les eaux émanées de quelques bassins tertiaires enveloppés de calcaires fissurés, s'élève à 4.410 kilomètres carrés, ce qui donne une surface absorbante de 140^{kq},6 pour 1 mètre cube de source à l'étiage. Il est à remarquer que le plateau septentrional borde le Verdon, et que le chiffre des filtrations est bien rapproché de celui de cette rivière ?

Étendue absorbante pour 1 mètre cube à l'étiage.

Parallèle entre les filtrations du climat méditerranéen et celles du climat séquanien.

	kil. q.		kil. q.
Cours du Verdon	144,4	Seine	370,6
Sources des deux plateaux calcaires du Var	140,6		
Source de Vaucluse	109,0	Somme, Soude, Berle et Cosle	292,6

Ainsi, quel que soit l'élément mis en parallèle, entre le climat méditerranéen et le climat séquanien, de tous côtés ressort cette vérité inattendue : les filtrations sont, dans le climat méditerranéen, de beaucoup supérieures à celles du climat séquanien ! Les produits d'eau pluviale vont en croissant rapidement dans la région méditerranéenne, lorsqu'on s'élève en hauteur et qu'on atteint la montagne septentrionale. La région du Verdon est vraiment la région moyenne de ce bassin, et c'est le rapport des filtrations du Verdon et de la Seine qui nous paraît donner l'expression la plus vraie de l'absorption relative dans les deux contrées.

Bassin de la Seine.

	millim.
Filtration dans les terrains perméables de la Seine.	126
Filtration dans les terrains perméables du Verdon.	324

Bassin du Rhône et de la Durance.

Filtration dans le plateau de Vertus, source de la Somme-Soude.	160
Filtration dans le plateau de Ventoux, source de Vaucluse.	427

Dans les sources de la *Somme-Soude*, comme dans celles de Vaucluse, il y a accroissement d'un tiers dans les filtrations mises en évidence relativement à celles du reste du bassin. Deux causes peuvent contribuer à cet effet : de plus abondantes eaux pluviales et moins d'eaux perdues que dans le cours de rivières bordées de terrains perméables.

M. Martins, dans son beau travail sur les climats de la France, évalue à 651 millimètres la nappe moyenne d'eau pluviale du climat méditerranéen, et à 548 millimètres la nappe du climat séquanien.

Dans ce dernier chiffre figurent les pluies des bords de la basse Loire, pluies bien moins abondantes que celle du haut du bassin de la Seine. Nous croyons pouvoir porter à 600 millimètres la dose moyenne pluviale des deux bassins. Nous sommes ainsi conduits à poser, pour l'évaporation et la filtration moyenne dans les deux climats que nous comparons :

	Pluie. millim.	Évaporation de la terre. millim.	Filtration. millim.
Bassin Séquanien.	600	474	126
Bassin Méditerranéen. .	600	276	324

Ainsi, l'évaporation de la terre mouillée par l'eau pluviale est beaucoup plus forte dans le climat des environs de Paris que dans le climat de la Provence, et les filtrations (sous le climat le plus chaud) des eaux souterraines sont *deux fois et demie* celles des environs de Paris.

De là dérive la submersion des terrains plats imperméables pendant la saison humide du climat méditerranéen, de là se déduit l'opportunité plus grande du drainage, de là résulte enfin la nécessité des dimensions plus larges du drainage du midi de la France.

Ces conséquences excitent la surprise, mais les parallèles établis sur la plus grande échelle comme les études de détail ne laissent subsister aucun doute. Peut-on citer dans le reste de la France des sources aussi nombreuses que celles du département du Var distribuant sur divers points 31^{mc},36 d'eau par seconde, outre ce qui naît dans le lit du Var et dans le lit du Verdon? Voit-on, à la suite des plateaux absorbants les plus développés, des sources comme Vaucluse donnant 13 mètres cubes à l'étiage? Voit-on dans d'autres contrées des mines peu profondes subir des submersions et des dessiccations successives comparables à celles qui s'opèrent dans les environs de Fuveau?

Déjà sous le climat rhodanien on trouve des phénomènes qui font pressentir ceux du climat de Marseille. Le Rhône et la Saône offrent, aux environs de Lyon, des traits d'analogie avec la Durance et le Verdon au confluent près Mirabeau; les eaux écoulées sur la surface de leurs bassins correspondent à une nappe de 366 millimètres, tandis que les eaux écoulées par la Seine répondent à 129 millimètres.

Causes des plus grandes filtrations sous le climat méditerranéen.

La cause des filtrations plus grandes dans le midi de la France est ici comme pour les résultats différents des expériences faites sur le drainage anglais dans la distribution des pluies. Les pluies du climat méditerranéen sont hivernales, celles du climat de Paris appartiennent plutôt à la saison chaude. Ainsi, la différence du climat est compensée par la différence des saisons pluvieuses.

A cette première raison vient s'ajouter celle de la concentration des pluies du climat méditerranéen sur un petit nombre de jours. Les eaux arrivant en plus grande abondance échappent à l'évaporation lente par l'écoulement superficiel ou par la filtration intérieure.

Si l'on exprime la concentration des pluies en divisant la quantité totale de l'eau tombée par le nombre de jours de pluie, on classe les climats de la France de la manière suivante :

	Concentration des pluies.
Climat séquanien.	3,9
— girondin.	4,5
— vosgien.	4,9
— rhodanien.	8,8
— méditerranéen.	11,9

L'intensité des pluies du climat méditerranéen est *triple* de l'intensité des pluies des environs de Paris. Il n'est donc pas étonnant que dans le midi de la France la filtration, les eaux torrentielles et les eaux submersives des terrains horizontaux soient plus considérables que dans les environs de Paris. Pour les eaux torrentielles, il y a de plus l'influence que produit l'inclinaison plus grande des terrains imperméables placés sur les flancs des hautes montagnes.

L'industrie humaine doit s'appliquer, dans le midi, à multiplier l'irrigation dont les sources plus abondantes offrent les plus nombreux éléments, et à opérer le drainage des sols imperméables avec plus d'énergie.

Le drainage n'a, d'ailleurs, pas seulement pour effet d'enlever les eaux surabondantes dues aux pluies hivernales, de prévenir le refroidissement du sol que causerait cette vaporisation, mais il a pour résultat encore plus prononcé de prévenir la compacité des sols argileux et de diminuer leur *siccabilité*.

La dessiccation du sol est tellement liée à sa compacité, que nous avons obtenu, auprès de Marseille, les résultats suivants, en fouillant la terre après *quatre mois de sécheresse* :

Dessiccation du sol compacte sous le climat méditerranéen.

	mètres.
Sol remué et retroussé depuis six mois, sec jusqu'à.	0,16 sous la surface.
Sol labouré depuis un an.	0,30
Sol sans labour depuis plusieurs années.	0,50

Les terres végétales les plus argileuses deviennent toujours, en été, les plus sèches ; leur compacité et leur dessiccation sont d'autant plus prononcées, en été, qu'elles ont été plus longtemps et plus complétement submergées en hiver. Le drainage est donc d'une utilité tout à fait spéciale comme préservatif de la dessiccation du sol sous l'influence des chaleurs du midi de la France.

Cette nécessité de l'émiettement de l'ameublement du sol est tellement sentie dans la région méridionale, que le drainage par murs, par empierrement, que les labours profonds avec la charrue Dombasle, avec les charrues de défoncement, perfectionnées sur place, y sont bien plus généralement pratiqués que dans le reste de la France. Les cultures de plantes fourragères, indispensables aux bons assolements, seraient impossibles dans le midi de la France avec des sillons qui n'auraient que 12 centimètres de profondeur ; telle est pourtant la profondeur presque universelle des labours des environs de Paris.

Les averses méridionales, *trois fois* plus fortes que celles des environs de Paris, exigent des moyens d'évacuation plus énergiques ; il faut que la vitesse d'écoulement soit plus considérable ou que les tuyaux aient une section plus large.

Le drainage par empierrement est déjà très-commun

dans le midi. Il ne s'agit que de régulariser son tracé, de rendre son exécution plus efficace et sa durée plus grande.

Les procédés de drainage doivent être perfectionnés dans la région méridionale à l'aide des moyens d'exécution les plus simples et des établissements les plus modestes, laissassent-ils même perdre quelques frais de main-d'œuvre. Dans ces contrées, chaque pièce de terre est la caisse d'épargne où le cultivateur vient verser les économies de ses heures, prises sur les fractions perdues de ses journées de travail.

Or, les fabriques de tuyaux de drainage ne peuvent pas être disséminées sur tous les cantons agricoles, le transport et l'acquisition de ces tuyaux exige des frais et des avances que l'on ne peut pas remplacer par quelques heures de labour de plus. Le drainage par tuyaux ne peut donc jamais être aussi populaire, être aussi universellement exécuté que le drainage par empierrement.

Quelle peut être la durée des drains par empierrement? quels sont les perfectionnements dont ils sont susceptibles?

Nous allons consulter l'expérience sur la question de la durée des drains par empierrement. — Nous donnerons ensuite l'aperçu des perfectionnements les plus essentiels dont ce mode de drainage nous a paru susceptible.

Description de l'ancien drainage des prés St-Gervais, près Paris.

Les exemples d'anciens drainages par empierrement ne doivent pas être cherchés loin de Paris ; on en trouve un type bien remarquable qui nous a été signalé par M. l'inspecteur général des ponts et chaussées Mary, dans la ceinture même de notre capitale.

Un vaste réseau de drains formés par empierrement s'étend sous le sol des Prés-Saint-Gervais, de Romain-

ville et de Ménilmontant. Ce drainage absorbe les eaux d'un bassin sans écoulement superficiel, occupé par les marnes de la formation gypseuse parisienne, bassin qui se développe sur un diamètre de plus de 2.500 mètres.

Ce drainage est établi en pierres plates formant un canal de 10 centimètres de large. Pendant les mois d'hiver, le débit de l'artère principale de ces canaux souterrains s'élève jusqu'à 4,000 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures.

Les eaux du drainage des Prés-Saint-Gervais sont tellement impures et gypseuses qu'on n'a pas pu les utiliser dans Paris. M. Mary leur a donné un débouché régulier et économique, en établissant un puits absorbant dans la partie orientale du terroir Saint-Gervais.

Le drainage des Prés-Saint-Gervais est très-ancien ; le mérite de son exécution est attribué, par M. Mary, aux religieux qui possédaient les terres de tout ce bassin avant Louis XIV ; tout comme les évêques de Marseille faisaient, dès le treizième siècle, l'assainissement de la vallée d'Aubagne, Bouches-du-Rhône, par puits absorbants, et réalisaient dès lors ce que l'on a appelé le système de drainage des sources d'Eklington ; tout comme les oratoriens de Maubeuge exécutaient, dès 1620, le premier drainage en tuyaux juxtaposés dont on ait retrouvé les traces.

Nous avons donc, aux portes de Paris, un drainage par empierrement remontant probablement à plus de trois siècles, et dont le fonctionnement continue de nos jours avec une remarquable efficacité.

Réparation des parties endommagées, à l'aide du mortier hydraulique.

Sur quelques points, les fouilles ont fait reconnaître des obstructions survenues dans le canal évacuant ; la marne servant de support aux pierres s'était ramollie, et les pierres s'étaient affaissées. M. Mary a ingénieu-

sement réparé le mal en établissant une couche de mortier hydraulique sur la marne; les pierres de drainage posées sur cette base résistante, comme sur un radier, n'ont plus subi de dérangement; les engorgements ont été prévenus.

Avant de connaître le travail de M. Mary, nous avions eu cette même pensée, et nous avons, pendant l'été dernier, établi un *drainage canal* par empierrements, en faisant reposer la base de l'empierrement sur une couche de mortier hydraulique de 2 centimètres d'épaisseur.

Drainage par empierrement avec un *radier* en mortier hydraulique et une *chappe de recouvrement* et sans perte aucune.

Ce drainage satisfait au double but d'amener vers une usine un faible écoulement d'eau indispensable au roulement, en même temps que le drainage absorbant latéralement toutes les eaux de filtration assainit un terrain qui était trop imprégné d'humidité.

L'excès de pente que l'on était obligé de donner aux drains par empierrement, comparés aux drains en tuyaux, n'est nullement nécessaire dès que la ligne de l'empierrement laisse subsister une ligne d'écoulement continu où la fuite des eaux s'établit sans obstacles; on se trouve ainsi ramené aux conditions que réalisent les tuyaux.

Nous ajoutons une dernière précaution à ce système d'exécution. Après avoir égalisé, avec les plus menues pierres, la surface supérieure de l'empierrement, nous y établissons un enduit de mortier hydraulique qui supprime toutes les filtrations verticales, celles qui font naître l'envasement le plus rapide du drain. Notre enduit hydraulique supérieur représente très-bien la *chappe* de la voûte d'un pont, et atteint évidemment bien mieux le but indiqué que les tessons recouvrant les drains et que les mottes d'argile ou de gazon qui sont foulées sur les tuyaux.

Ainsi, en ajoutant un peu de mortier hydraulique aux empierrements, on peut obtenir, dans ce système de drainage, la réunion de tous les avantages du drainage le plus perfectionné, confectionné avec les tuyaux de 3 à 4 centimètres de diamètre vide, tout en restant dans de bonnes conditions économiques (1).

Toutes les fois que les tuyaux de drainage ne pourront pas être livrés immédiatement et à bas prix, toutes les fois qu'au lieu de tuyaux on n'aura que des briques plates, quand bien même elles seraient irrégulières ou en morceaux brisés, toutes les fois que les pierres abondantes seront un embarras pour le laboureur, le drainage perfectionné par le mortier hydraulique peut permettre avec succès certain l'emploi de la mauvaise briqueterie ou de l'empierrement. Or, les pierres ne font pas défaut dans le voisinage des sols imperméables provenant des terrains primitifs, des grès secondaires, des marnes intercalées dans les calcaires : ce n'est que dans une certaine partie des sols imperméables tertiaires et d'alluvion, dans les terrains tourbeux, que les pierres peuvent manquer. Les drainages par empierrement peuvent donc s'appliquer à plus des deux tiers des grands travaux d'assainissement. Pour les terrains coulants, où les parois des fossés de drainage ne peuvent se soutenir, on doit absolument recourir aux tuyaux. On peut les établir en béton hydraulique coulé sur mandrin et séché quarante-huit heures avant l'emploi, quand le ciment ou la chaux hydraulique abondent et que la poterie est rare.

Cas où les drainages par empierrement doivent être absolument établis en tuyaux.

Tuyaux coulés en mortier hydraulique.

(1) Lorsque le prix de la chaux hydraulique ne dépasse le prix de 25 francs les 1.000 kilogrammes, les deux enduits de mortier correspondent à une dépense de 7 à 10 centimes le mètre courant; c'est le prix du mètre de tuyaux, aux environs de Paris et portés sur place.

Le remarquable exemple de durée offert par le drainage des Prés-Saint-Gervais est fait pour inspirer confiance dans les drainages par empierrement bien exécutés, à plus forte raison devra-t-on être assuré d'un succès durable, alors qu'on y ajoutera l'influence d'une couverture hydraulique.

Cas où le radier en mortier hydraulique est utile même pour les drainages par tuyaux.

Dans les cas très-nombreux où le fond du fossé du drainage ne pourrait supporter les matériaux, ou lorsque les eaux du drainage devront être complétement conservées pour former des sources artificielles, la couche inférieure de mortier hydraulique faisant fonction de radier devra être employée; elle sera nécessaire même dans le cas où l'on ferait usage de tuyaux pour traverser des terrains qui, devenant absorbants pendant une portion de l'année, arrêteraient les eaux à utiliser.

Cas où les sols imperméables et inclinés peuvent être sillonnés de murs faisant fonction de drains et formant des sources artificielles.

Les profondes érosions que causent dans les sols argileux imperméables et fortement inclinés les averses caractéristiques du climat méditerranéen, ont, depuis longtemps, amené l'usage de multiplier les terrassements soutenus par des murailles ou des empierrements. Ce système peut être régularisé et servir à former des sources artificielles. On atteindra ce but en donnant des pentes soigneusement tracées aux fossés qui supportent la base des muraillements, et les faisant aboutir vers une ligne servant de *récipient commun* aux eaux que l'on contiendra avec un enduit hydraulique établi au fond des fossés.

Importance que les évacuations par puits absorbants ont pour faciliter le drainage des propriétés françaises.

Encore une réflexion suggérée par les judicieux travaux de M. Mary : en France, le morcellement de la propriété, douze fois plus grand que celui des domaines anglais, donne un mérite sérieux et un à-propos spécial aux évacuations par puits absorbants; on est par là dispensé de la nécessité de prolonger les canaux d'évacua-

tion jusque dans les propriétés appartenant à des tiers qui refusent de subir cette servitude.

Les explorations géologiques qui éclairent la recherche des évacuants souterrains à l'aide des failles, des cavernes et des couches perméables sous-jacentes sont donc, en France plus qu'ailleurs, d'utiles auxiliaires des procédés de drainage.

Que l'on songe que les assainissements des vallées de Cuges, d'Aubagne et Gemenas, dans les Bouches-du-Rhône, sont fondés sur la mise à profit des puits absorbants fonctionnant encore bien depuis *six siècles*, et l'on concevra tout ce que la recherche des absorbants souterrains offre de ressources au drainage français !

En résumé, mettre en usage dans le drainage perfectionné les pierres embarrassant les travaux superficiels, assurer l'efficacité et la durée du drainage par empierrement à l'aide du mortier hydraulique dont la fabrication devient chaque jour plus économique, perfectionner aussi la conservation des eaux de drainage comme sources artificielles, ou rendre leur évacuation moins embarrassante à l'aide des absorbants souterrains, voilà les considérations importantes qui nous paraissent se rattacher aux détails descriptifs précédents : puissent-ils servir à étendre la pratique du drainage jusqu'aux plus humbles héritages !

Importance des drainages au point de vue hydraulique dans le midi de la France.

Si le drainage, reconnu si utile dans le nord de la France, a une utilité bien plus élevée au point de vue agricole dans le midi, il a une portée bien haute encore dans les régions méridionales, où les eaux temporairement stagnantes font naître les nombreuses épidémies associées ordinaires des fièvres paludéennes des pays chauds. Le drainage qui a réduit les maladies dues aux

eaux stagnantes dans le rapport de 102 à 16 dans les environs de Woollen, en Angleterre, n'a-t-il pas une bien plus haute mission de salut à accomplir dans les marais de la Bresse, dans ceux du Languedoc et du delta du Rhône? N'est-il pas un devoir sur les bords de l'Isère et de la Durance, ravagés par les fièvres des terrains marécageux situés au milieu des plus belles portions de ces vallées? Le drainage est, dans ces régions fluviales, intimement lié aux moyens d'évacuation, et, par conséquent, à l'endiguement de ces rivières. C'est le seul moyen de fournir une suite régulière aux canaux d'évacuation *souterraine* ou *superficielle*.

Importance du drainage pour l'endiguement des rivières torrentielles.

Conclusion en faveur des drainages des régions et des climats de la France intermédiaires entre le climat des bords de la Seine et celui des rives de la Méditerranée.

IV. En démontrant l'importance du drainage dans le climat le plus différent de celui des environs de Paris, nous avons suffisamment établi qu'il est d'une utilité générale sur tous les sols imperméables de la France, et que les moyens d'évacuation doivent être proportionnels à l'intensité de pluies légèrement plus fortes qu'aux environs de Paris, dans les climats girondin et vosgien, cette intensité est *deux* fois plus forte dans le climat rhodanien, tandis qu'elle est *triple* dans le climat méditerranéen.

Etendue des sols imperméables de la France.

L'ensemble des terrains imperméables à drainer dans l'étendue de la France peut se déterminer approximativement à l'aide de la division des surfaces des terrains présentée par les illustres auteurs de la carte géologique de la France.

	Sol imperméable. Millions d'hectares.	Sol perméable. (Sableux, pierreux, calcaires à crevasses.) Millions d'hectares.
Terrains primitifs.	5,20	5,20
— de transition. . .	2,60	2,60
— phosphorique. .	0,11,2	0,11
— carbonifère. . .	0,10	0,19,8
— trias.	1,30	1,30
— Jura.	1,04	9,36
— crétacé.	2,08	4,76
— tertiaire.	7,80	7,80
— volcanique. . . .	0,26	0,26
— alluvion.	0,26	0,26
	20,75,2	31,34,8

Sur un total de 50.000.000 hectares.

Importance que pourraient avoir les eaux de drainage pour l'irrigation générale.

Les deux cinquièmes du sol français sont imperméables. En admettant cette proportion dans les 34 millions d'hectares cultivés, il y aura 14 millions d'hectares à drainer... et la nappe d'eau de filtration à éliminer par cette immense transformation, évaluée à un taux moyen entre les deux climats les plus extrêmes de la France, s'élève à 230 millimètres.

La moitié des eaux de filtration aménagée pour les besoins de l'irrigation agricole, on aurait livré à l'agriculture un volume d'eau représentant un étiage de plus de 333 mètres cubes par seconde, à peu près la moitié de l'étiage de tous les cours d'eau de la France.

La nappe d'eau moyenne représentée par les écoulements des principaux cours d'eau de la France est donnée par la moyenne des chiffres suivants :

	millimètres.
Rhône.	366
Rhin.	410
Garonne.	170
Seine.	120
Total.	1.066
Moyenne.	266,5

On devait s'attendre à un chiffre légèrement supérieur à celui de la nappe moyenne de filtration, puisque l'é-

coulement torrentiel sur les sols en pente soustrait plus rapidement encore que la filtration les eaux tombées à la surface de la terre.

Importance des drainages par empierrement dans l'ensemble du terrain à drainer.

On voit que les sols imperméables sont placés en majorité dans les terrains tertiaires et les terrains granitiques, mais que les terrains tertiaires imperméables ne constituent que le *tiers* de la surface imperméable ; or, les pierres pour drainage ne peuvent être rares que dans une portion des sols tertiaires. Il importait donc beaucoup que l'on signalât les moyens de perfectionner les canaux par empierrements qui doivent constituer les deux tiers du drainage français.

Marais à dessécher.

La conséquence la plus immédiate des travaux de drainage à entreprendre en France est le desséchement des parties marécageuses et l'endiguement des rivières torrentueuses. C'est dans le midi que ces deux améliorations sont appelées à avoir la plus grande conséquence, aux points de vue de l'hygiène et de l'accroissement des richesses agricoles. L'endiguement des cours d'eau de quinze départements méridionaux à cours d'eau torrentiels, doit amener la conquête de 120.000 hectares de terre du plus haut prix dans les hautes et basses Alpes, l'Isère, les Bouches-du-Rhône, le Var, Vaucluse, le Gard, l'Hérault, l'Aude, l'Aveyron, la Drôme, l'Ardèche, les Pyrénées-Orientales et la Haute-Garonne.

Endiguement à exécuter.

Les travaux d'endiguement doivent être absolument combinés avec le *drainage* des vallées où l'écoulement des eaux doit être ménagé. Hors de cette condition, l'endiguement n'améliorerait une partie du sol que pour détériorer l'autre ; pour écarter les chances de submersion et de grandes inondations, il faut aussi drainer les pentes à sol imperméable.

La destruction des marais dans des départements

tels que l'Ain, la Nièvre, l'Allier, la Loire, la Marne et autres départements frappés d'insalubrité à cause des étangs naturels ou artificiels, ne peut être obtenue, avec fruit, que par le drainage. En calculant la moyenne surface à donner aux eaux pour 1.000 hectares carrés, on voit, d'après le type offert par le Bas-Rhin traversé cependant par l'immense cours d'eau du Rhin, que 6 hectares carrés peuvent être sacrifiés ; d'après ce type, le lit à donner aux cours d'eau de la France avec 52.800.000 hectares d'étendue, serait 314.800 hectares.

Or l'étendue des étangs est	209.000 hect.
Celle des lacs et rivières.	456.000
Total de la surface des eaux de la France.	665.000
Il y a donc à conquérir.	350.000 hect.

Si l'on joint aux 120.000 hectares de conquête par endiguement 120.000 hectares à enlever aux marais, on n'aura encore enlevé qu'une surface superflue de 240.000 hectares, c'est-à-dire les deux tiers seulement de ce qu'il est possible d'obtenir. Or, ces 240.000 hectares constitueraient à eux seuls une valeur foncière de près de un milliard, et suffiraient pour produire les 4 millions d'hectolitres de blé qui manquent à la France dans les années de récolte mauvaise.

Le problème de l'alimentation publique assurée pourrait être résolu en même temps que celui de la plus vaste amélioration hygiénique, de celui qui constituera le plus haut bienfait d'une administration intelligente.

Les relations que nous venons d'esquisser entre la météorologie et la composition géologique des terrains qui bordent les sources, et le drainage permettront, nous l'espérons, de résoudre les questions locales que présentera l'application de cet art renouvelé et transformé par ses récents perfectionnements. Nous allons offrir

ici le résumé des études que nous venons d'exposer dans les pages précédentes.

Résumé. Le but du drainage est de supprimer les eaux stagnantes que les pluies accumulent sur les terrains imperméables privés de pente, et les eaux torrentielles qui corrodent les terrains argileux inclinés.

Le drainage rend possible, ainsi, la culture des plantes fourragères améliorantes, régularise le régime des eaux courantes, et fait naître des sources.

Les conditions météorologiques sous lesquelles s'exécute le drainage anglais, se rapprochent de celles du bassin de la Seine que M. Martins nomme climat séquanien.

L'examen attentif des observations, la comparaison que nous en avons faite à l'aide de nos tracés graphiques, montre que les résultats obtenus en Angleterre par Charnock, Dickinson et Dalton sur l'*évaporation* et la *filtration* des eaux pluviales, n'ont que des divergences apparentes, et que ces phénomènes suivent des lois régulières en harmonie avec la *distribution des pluies*.

Les pluies d'été sont accompagnées de la plus *forte* évaporation et de la *moindre* filtration; les pluies d'hiver font naître une moindre évaporation et une filtration plus abondante.

Le tracé de la courbe d'évaporation de la terre saturée d'eau de Charnock, montre de quelle manière devrait être distribuée une pluie quotidienne pour ne faire naître *aucune filtration*. Cette courbe très-rapprochée de celle d'évaporation de l'eau pure pendant l'été, est aussi la *limite* ou l'*asymptote* des évaporations de la terre observées par Charnock, par Dickinson et par Dalton.

La radiation du sol explique comment, dans certaines parties de l'année, la courbe d'évaporation de la terre humectée par la pluie, dépasse la courbe d'évaporation

de l'eau pure, tandis que dans la première moitié de l'année où la terre est plus froide que l'air, l'évaporation de la terre reste très-notablement inférieure à la vaporisation de l'eau pure.

L'évaporation de la terre devient même négative dans certains cas; c'est-à-dire que le sol refroidi provoque la condensation des vapeurs d'eau atmosphériques. C'est ainsi que dans les mois de fréquentes alternatives de gelées et de pluies, la filtration peut dépasser la dose d'eau pluviale. Les observations de Dickinson, en Angleterre, celles que nous puisons chez M. de Courcy, en France, offrent des exemples de ce phénomène.

La filtration est d'autant plus abondante que la masse d'eau pluviale tombe dans un espace de temps plus court. Certaines journées très-pluvieuses, pendant la durée d'un mois, peuvent donner des filtrations, quoique la pluie du mois soit inférieure à la dose totale d'eau évaporée dans un sol saturé. Par suite, la courbe qui trace les filtrations dans le sol est inférieure à la courbe d'évaporation de la terre saturée. Dès que la courbe d'évaporation de la terre pénètre dans la courbe des eaux pluviales, les filtrations doivent naître. En Angleterre, la courbe d'évaporation de la terre de Dalton peut servir à déterminer, sous le climat de la Tamise, et sur une distribution de pluie donnée, la possibilité et même la quantité des filtrations. Ce procédé graphique détermine exactement les périodes de filtration principales dans les années d'observations de Charnock et de Dickinson.

La similitude des courbes d'évaporation de *Montmorency* et de *Troyes* (1), relatives à l'eau pure et au

(1) Les éléments servant à construire ces courbes par notre méthode ont été puisés dans le *Traité d'agriculture* de M. de

climat séquanien, avec la courbe d'évaporation d'eau pure de Charnock et avec celle de Dalton, fait présumer que la courbe d'évaporation de Dalton pourra aussi faire reconnaître les filtrations possibles sous un régime de pluies donné du climat séquanien. En effet, les périodes de filtration dans le drainage de M. de Courcy, aux environs de Paris, sont bien signalées par la superposition de la courbe de Dalton sur celle des pluies de l'année.

La détermination du chiffre moyen des filtrations et de l'évaporation sous le climat séquanien peut s'établir :

1° Par les observations de filtration faites chez M. de Courcy.

2° Par l'étiage de la Seine considéré comme produit des filtrations à travers les couches perméables du bassin de cette rivière.

3° Par la discussion du débit total de la Seine donnant à la fois les eaux torrentielles et les eaux de filtration. Ces trois méthodes conduisent à des résultats peu différents et à peu près identiques à la dose des filtrations trouvées en Angleterre par Charnock, 126 millimètres. La filtration des terrains perméables calculée par le débit de la Somme-Soude donne un chiffre un peu supérieur, 161 millimètres.

Sous le climat méditerranéen, la courbe d'évaporation de la terre et celle d'évaporation de l'eau pure construites avec les éléments publiés par M. de Gasparin, révèlent une évaporation très-forte, une *dessiccation* du sol très-prononcée pendant les quatre mois les plus chauds. Nos propres observations nous ont démontré comment cette dessiccation diminue lorsque le sol est ameubli. — L'évaporation faiblit et la filtration appa-

---

Gasparin ; le *Traité de drainage* de M. Barral nous a fourni les éléments des courbes d'évaporation de la terre résultant des observations de *Dalton*, *Charnock* et *Dickinson*.

rait sous le régime des fortes pluies de la saison froide du même climat.

La dose d'eau non absorbée et non vaporisée déduite du régime des rivières *troubles*, telles que la Durance et le Var, indique, dans cette région méridionale, des écoulements torrentiels *quatre* à *cinq* fois plus forts que ceux du climat séquanien, et démontrant la nécessité de drainages, par muraillements et par fossés absorbants, sur les flancs des coteaux très-inclinés formés d'argiles imperméables.

Le régime des rivières du midi à eaux limpides, dont le bassin est formé de terrains perméables dans une proportion analogue à celle reconnue dans le bassin de la Seine, peut être étudié dans le débit du Verdon, limite entre les départements du Var et des Basses-Alpes; le chiffre de l'étiage de cette rivière montre que la filtration est de 324 millimètres, *au moins deux fois et demie* celle du climat séquanien.

Le débit des grands groupes de sources du département du Var donnant à l'étiage $31^{mc},36$ par seconde, produit de plateaux absorbants de 4.410 kilomètres quarrés; le jaillissement de Vaucluse, avec son étiage de 13 mètres par seconde, émanant d'un plateau de 1.421 kilomètres quarrés, fournissent, pour la dose des filtrations calculées sur le débit moyen de l'année, $331^{mm},6$ et $427^{mm},4$. Le premier chiffre offre un accord bien remarquable avec la filtration représentée par le débit du Verdon, tandis que l'excès du débit de Vaucluse rappelle l'excès de *Somme-Soude* relativement à la Seine.

D'après ces premières recherches, une dose moyenne générale de pluies de 600 millimètres donne :

	Filtration.	Évaporation.
	millim.	millim.
Climat séquanien.	126	474
Climat méditerranéen.	324	276

L'apparente anomalie qu'offrent, relativement au climat du nord de la France, soit le plus grand écoulement des eaux torrentielles sur les sols imperméables, soit la plus forte filtration sur les terres perméables, ainsi que la moindre évaporation des eaux pluviales sous le climat du midi, s'explique bien en observant :

1° Que les pluies méditerranéennes tombant pendant les mois les plus froids, s'écoulant immédiatement sur les sols argileux inclinés, ou pénétrant rapidement dans les sols perméables, laissent une moindre part pour la vaporisation pendant la saison chaude;

2° Que les pluies sont *trois fois plus concentrées* ou trois fois plus rapides sous le climat méditerranéen.

En conséquence, il y a dans la France méridionale : plus grand ravinement des sols argileux, plus grande submersion hivernale des terrains imperméables horizontaux, et plus énergique dessiccation, en été, des terrains plats qui avaient été détrempés.

Il résulte de là une plus haute utilité du drainage dans tous les sols imperméables du midi de la France. Les drains doivent avoir une pente plus forte ou une section plus large pour suffire à une évacuation triple de celle exigée pour les climats de Londres et de Paris.

Les questions de salubrité et de régularisation des cours d'eau, par travaux de drainage, offrent, pour le midi de la France, une importance bien supérieure à celle déjà reconnue pour l'agriculture du nord.

L'utilité du drainage étant bien démontrée pour les deux régions de la France où les conditions climatériques sont les plus opposées, cette utilité est ainsi établie pour les contrées intermédiaires. Le sol imperméable de la France paraît, d'après nos calculs appliqués à la belle carte géologique que nous devons à deux savants illustres, devoir être porté à 21.000.000 d'hec-

tares. Les deux tiers de la surface de notre sol sont cultivés, c'est donc 14.000.000 d'hectares à drainer!

Mais, d'après nos évaluations, sur les deux tiers des terrains à drainer, les pierres abondent et sont un embarras; le perfectionnement du drainage par empierrement serait donc, en France, d'une haute utilité, et l'évacuation par puits absorbants d'une grande opportunité à cause de la division de la propriété morcelée. L'exemple de la conservation du drainage par empierrement établi aux Prés-Saint-Gervais, aux portes de Paris, et révélé par M. l'inspecteur général Mary, montre ce que l'on peut attendre des drains par empierrement, alors qu'on y aura généralisé la pratique des chappes et des radiers en mortier hydraulique. Le drainage des Prés-Saint-Gervais donne, en hiver, 4.000 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures; on peut donc, sous notre climat, créer des sources importantes.

Le drainage des bas-fonds devrait s'exécuter avec l'encaissement des rivières torrentueuses, dont la ceinture de digues modifierait tous les écoulements; il faudrait drainer aussi les coteaux pour éviter la rapidité des inondations. Or, la France offre 209.000 hectares de marais, 456.000 hectares de graviers et lits de rivières; en assainissant les lieux marécageux, en régularisant les cours d'eau, on pourrait conquérir 240.000 hectares de riche terreau qui suffiraient, à eux seuls, pour combler le vide des 4.000.000 d'hectolitres de grains, vide qu'ouvrent pour nous les années de médiocre récolte. C'est par ces travaux que de grandes compagnies concessionnaires pourraient inaugurer le drainage et le populariser par le vaste modèle offert aux petits propriétaires.

Tableau comparatif des observations faites sur le climat anglais.

OBSERVATEURS.	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Septembre.	Octobre.	Novembre.	Décembre.		TOTAL annuel.
	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.		mill.
Dalton. . .	62,4	45,7	22,9	43,6	106,1	63,2	105,5	90,3	83,3	73,6	74,2	81,2	Pluie.	852,0
	25,6	12,7	15,8	37,7	68,3	55,6	104,0	86,0	74,9	67,8	51,9	37,7	Évaporation du sol drainé.	638,0
	36,8	33,0	7,1	5,9	37,8	7,6	1,5	4,3	8,4	5,8	22,3	43,6	Filtration à travers le sol drainé.	214,1
Dickinson.	46,9	50,1	41,1	36,9	47,1	56,1	58,1	61,5	66,9	71,6	87,5	41,6	Pluie.	665,3
	13,7	10,8	13,6	29,1	44,4	55,1	57,0	60,6	31,4	36,1	7,3	4,2	Évaporation du sol drainé.	381,1
	33,2	39,3	27,4	7,8	2,7	1,0	1,1	0,9	9,3	35,5	86,2	45,8	Filtration à travers le sol drainé.	284,2
Charnock.	47,7	37,8	48,3	58,2	47,0	52,3	79,2	79,2	39,9	56,4	49,3	34,5	Pluie.	629,8
	28,9	27,9	35,0	36,9	42,9	49,6	72,6	72,6	34,0	40,6	36,9	25,4	Évaporation de la terre drainée.	503,8
	18,8	9,9	13,3	21,3	5,1	2,7	6,6	6,6	5,9	15,8	12,4	9,1	Filtration à travers la terre drainée.	126,5
	48,0	43,2	63,7	94,0 (*)	102,6	114,8	98,5	88,4	78,4	58,9 (*)	53,3	55,1	Évaporation de l'eau pure exposée au soleil.	898,9
	42,6	40,4	50,8	44,0	94,0	110,7	94,2	83,6	73,4	63,5	51,0	42,4	Évaporation de la terre exposée au soleil. . .	790,6
	33,0	25,1	41,6	56,2	68,9	76,5	65,3	59,4	51,8	42,1	35,0	40,4	Évaporation de l'eau pure à l'ombre, mais au vent.	595,3

MATÉRIEL DES CHEMINS DE FER.

DE LA CONSTRUCTION DES MACHINES TRÈS-PUISSANTES ET A PETITE VITESSE; DES LOCOMOTIVES DU SYSTÈME ENGERTH, ET DE LEUR APPLICATION PROJETÉE A LA TRACTION DES MARCHANDISES SUR QUELQUES LIGNES DE FRANCE.

Par M. C. COUCHE,
Ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

Caractères des machines à petite vitesse.

1. Les machines à marchandises ne diffèrent des machines à voyageurs que par deux points essentiels : la petitesse des roues et leur solidarité, qui entraîne l'égalité des diamètres.

1° Petit diamètre des roues.

La vitesse de rotation normale de l'essieu moteur étant réglée d'après des considérations relatives seulement au mécanisme et indépendantes de la vitesse de translation, le diamètre des roues motrices doit être sensiblement proportionnel à celle-ci, à égalité de surface de chauffe. Une locomotive remorquant un train peut en effet être supposée immobile, attachée à un point fixe, et agissant sur le train (dans lequel on doit évidemment comprendre le poids de la machine elle-même) par l'intermédiaire d'un fil qui s'enroule sur une des roues motrices transformée en poulie; la vitesse imprimée au train est donc, à égalité de travail disponible sur l'essieu moteur, en raison directe, et la tension du fil en raison inverse du bras de levier, c'est-à-dire du rayon de la roue.

2° Grandeur du poids adhérent.

2. D'un autre côté, en restituant à la machine sa mobilité, la résistance du point fixe hypothétique est

remplacée par la composante horizontale de la réaction des rails sur les roues motrices ; cette composante ou l'*adhérence*, égale pendant le mouvement uniforme à la résistance totale du train, fixe par cela même pour limite à cette résistance son propre maximum, c'est-à-dire le frottement. Il faut donc que ce frottement et par suite la charge à laquelle il est dû, ou le *poids adhérent*, croissent, pour un travail moteur donné disponible sur l'essieu, proportionnellement à l'effort de traction et en raison inverse de la vitesse.

3. Un moteur assujetti à transmettre ainsi son travail par l'intermédiaire du frottement développé par son poids pourrait être trop léger pour utiliser complétement sa puissance dynamique ; mais en fait, cette disproportion n'existe pas pour les locomotives dont le véhicule est convenablement disposé ; ou du moins elle ne se manifeste que passagèrement, dans des circonstances atmosphériques défavorables, et elle n'est pas assez grave pour déterminer à surcharger systématiquement les machines. On les fait donc, jusqu'à présent, aussi légères que le permettent les conditions de puissance et de solidité qu'elles doivent remplir ; mais on conçoit qu'il pourra en être autrement pour des machines plus puissantes, parce que le poids déterminé par ces conditions ne croît pas dans le même rapport que la surface de chauffe.

Aujourd'hui, une machine à grande vitesse, à roues motrices de $1^m,80$ à $2^m,20$, peut utiliser toute sa puissance avec l'adhérence due aux 2/5 ou à la moitié de son poids au plus. Une seule paire de roues *adhérentes* sur trois suffit alors, non sans entraîner parfois, il est vrai, une surcharge nuisible pour la voie. Quant aux machines à petite vitesse ou à roues de 1 mètre à $1^m,30$ de diamètre, elles ont besoin de l'adhérence due à la

presque totalité de leur poids, et les trois paires des roues doivent dès lors être rendues adhérentes.

Motifs qui rendent nécessaires des machines à petite vitesse très-puissantes.

4. La construction de locomotives à petite vitesse et très-puissantes est en ce moment, de toutes les questions techniques à l'ordre du jour sur les chemins de fer, la plus pressante et la plus discutée.

Le problème a deux faces : les exigences auxquelles il faut satisfaire, sont tantôt celles du tracé, tantôt celles du trafic.

1° Exigences du tracé.

C'est sous la première forme qu'il s'est présenté en Allemagne dans toute sa complication. Tandis que des rampes d'une inclinaison inusitée exigent de la part des machines un effort de traction énorme, l'extrême roideur des courbes met en défaut le seul moyen pratique d'utiliser toute l'adhérence, c'est-à-dire l'accouplement. Cette influence est d'autant plus prononcée que la puissance réclamée par les appareils de vaporisation dont les dimensions transversales sont si limitées, réagit sur leur longueur ; celle-ci réagit à son tour sur l'écartement des essieux extrêmes, de sorte que si la combinaison de rampes et de courbes d'une grande roideur est indispensable pour franchir les obstacles naturels, elle impose aux moteurs deux conditions très-difficiles à concilier : une grande adhérence et une grande flexibilité.

2° Exigences du trafic.

5. Il ne s'agit pas en France de franchir des rampes de 0,025, mais de remorquer, au moyen d'une seule machine, des masses énormes, de sorte que les conditions de puissance et de vitesse sont à peu près les mêmes dans les deux cas. La question a d'ailleurs une importance capitale ; ce n'est pas simplement l'économie des transports à petite vitesse qui est en jeu, c'est la régularité du service, c'est la sécurité même des voyageurs, évidemment menacée, quand l'activité du

double service opéré sur les mêmes rails, dépasse une certaine limite (1). Il faut alors augmenter la masse des trains sous peine de les multiplier outre mesure. Mais cette nécessité ne se manifestant jusqu'ici que sur les lignes les plus favorisées sous le rapport du tracé, (soit naturellement, soit par suite des sacrifices qu'on s'est imposés pour leur exécution), les conditions de flexibilité du véhicule sont incomparablement moins impérieuses en France qu'en Allemagne.

Accroissement de charge utile par essieu de wagons.

6. Si l'augmentation de tonnage par train exige l'accroissement de la puissance des machines, une autre mesure tend au même but et doit être employée concurremment, c'est l'augmentation de la charge utile par essieu de wagon. On est entré dans cette voie avec un succès complet, grâce à l'augmentation de la surface des fusées, et à l'emploi de ressorts en acier fondu. On réduit ainsi non-seulement le poids mort, *les* frais de traction, et le capital engagé dans le matériel de transport, mais aussi la longueur des trains. Cette dernière considération n'est nullement indifférente; déjà aujourd'hui, avec les machines de puissance ordinaire et les wagons chargeant six à sept tonnes, la longueur des trains de marchandises présente des inconvénients réels (2); et si la charge utile des trains doit croître encore dans une proportion notable, il importe que leur longueur ne suive pas la même progression.

7. L'expérience indiquera jusqu'à quelle limite il est possible de réduire le rapport du poids mort au poids

(1) Voyez : *Des mesures propres à prévenir les collisions sur les chemins de fer*, par M. Couche, 1853. Chez Carilian-Gœury et Vᵉʳ Dalmont à Paris.

(2) Voir la note A.

utile. Si, pour le transport des voyageurs, la sécurité réclame incontestablement un matériel très-lourd, réunissant ainsi une grande résistance et une grande stabilité, le matériel à marchandises doit au contraire être allégé autant que le permet l'intensité des actions auxquelles il est soumis; actions qu'on devrait par parenthèse s'attacher à atténuer par une meilleure organisation du service des hommes d'équipe chargés de la formation et de la décomposition des trains (1).

Quant aux chocs que subit ce matériel lors du démarrage des trains, leur intensité croît avec le nombre des wagons; c'est un motif pour ne pas exagérer ce nombre, et pour ne pas viser à dépasser une certaine limite pour la puissance des machines. Dans un train très-nombreux, les derniers wagons ont fort à souffrir au moment du démarrage, parce que la masse qui vient agir brusquement sur chacun d'eux est non-seulement très-grande, mais aussi animée déjà d'une vitesse notable. L'augmentation de la charge utile par essieu présente aussi à ce point de vue un avantage réel; elle atténue la disproportion qui existe entre la masse de chaque wagon, et la masse totale du système dont il fait partie.

Le nombre de wagons qu'on peut se proposer de remorquer d'un seul coup dépend surtout des exigences du trafic, qui peuvent conduire à passer sur diverses considérations quelquefois secondaires après tout, telles qu'un surcroît de fatigue du matériel. Il n'y a alors, en excluant l'emploi permanent d'un moteur multiple (2), d'autre limite que celle de la puissance des machines. Voyons quelle est cette limite pour les machines du type ordinaire.

---

(1) Voir la note B.
(2) Voir la note C.

Limite de l'effort de traction d'une machine à six roues, quelle que soit sa puissance dynamique.

8. Une charge de 11 à 12 tonnes par essieu peut être regardée comme un maximum qu'il convient de ne pas excéder sur les voies actuelles, même les mieux établies. Il est souvent dépassé, il est vrai, dans les machines à voyageurs ; il l'est surtout périodiquement dans une proportion très-considérable, principalement dans les machines à grande vitesse, quand on commet la faute, très-rare du reste aujourd'hui, d'appliquer aux roues des contre-poids excédant notablement ceux de l'équilibre vertical (1) ; mais invoquer ces faits comme un argument à l'appui d'une limite de charge permanente plus élevée que 11 à 12 tonnes, ce serait justifier l'aggravation d'une faute par la faute elle-même.

Cas où les machines à six roues deviendraient insuffisantes.

35 à 36 tonnes, telle est donc la limite du poids d'une machine à 6 roues, et encore à condition de le répartir uniformément. En admettant, à l'exemple des ingénieuurs allemands, 1/8 pour la valeur moyenne du coefficient du frottement (chiffre plutôt faible que fort), on a 4.500 kilog. pour l'effort *total* de traction maximum d'une machine à 6 roues, quelle que soit sa puissance dynamique.

Si un tel effort de traction est au-dessous des exigences du trafic, il faut nécessairement augmenter le poids, et dès lors le répartir sur plus de 3 essieux, et accepter des modifications plus ou moins profondes dans l'aménagement de la machine.

Cet effort fût-il suffisant, il faudrait encore recourir à des dispositions nouvelles si le tracé repoussait un écartement des essieux rigides en rapport avec la longueur nécessairement considérable d'une chaudière très-puissante.

Exemple du Semring.

9. Tel est le cas qui s'est présenté au Semring ; l'at-

(1) Voir la note D.

tention des ingénieurs, éveillée depuis longtemps par la hardiesse de cette grande expérience, est vivement excitée en ce moment par le succès des machines appliquées depuis un an à l'exploitation de cette section. L'analogie partielle des conditions mécaniques du problème regardé comme résolu au Semring, et du problème à résoudre sur quelques-unes des lignes françaises les plus importantes, a conduit plusieurs hommes spéciaux à considérer la solution de l'un comme applicable également à l'autre. Elle l'est en effet, sans contredit; mais cette solution non-seulement convenable mais même nécessaire dans le premier cas, possède-t-elle les mêmes caractères dans le second? Telle est la question qu'il importe d'examiner.

Premières machines du Semring.

10. Rappelons d'abord par quelle série de tentatives on a été conduit à adopter le type de machines récemment inauguré au Semring, et quels sont ses traits essentiels.

On connaît le résultat du concours ouvert en 1851 par le gouvernement autrichien, qui avait invité tous les constructeurs à y prendre part (1). Sur quatre machines seulement qui répondirent à cet appel, le prix a été remporté par celle qui était la moins propre, peut-être, à faire un service prolongé. En se liant d'avance par les chiffres absolus d'un programme, la commission d'examen avait renoncé à l'élément essentiel de son jugement, l'appréciation raisonnée de la valeur usuelle de l'appareil. Pourvu que la machine se tirât avec avantage de quelques épreuves passagères, tout était dit; mais, le jour même où elle triomphait, forte de la lettre du programme, la machine *Bavaria* était

(1) Voir *Des progrès des machines locomotives*, etc.; par M. Couche (*Annales des mines*, 5e série, t. I, 1852, p. 353).

déjà condamnée, ou peu s'en fallait, dans l'esprit de ses juges; et elle n'a pas tardé à l'être définitivement par les épreuves ultérieures.

Deux de ces machines offraient une solution du problème.

11. Deux machines, la *Wiener-Neustadt* et la *Seraing*, avaient seules résolu le problème; la totalité de leur poids était utilisée pour l'adhérence, et leur flexibilité complète. Elles présentaient l'une et l'autre des dispositions auxquelles on a justement reproché quelque complication et des inconvénients évidents; mais nouvelles, ingénieuses, et susceptibles, à coup sûr, d'améliorations de détail. Quant à la machine *Vindobona*, la seule qui n'ait eu aucune part aux prix, elle se trouve aujourd'hui, par un singulier revirement, la seule admise à faire partie du matériel d'exploitation : c'est en effet la seule à laquelle on ait pu, précisément parce qu'elle était faite sur le patron ordinaire, appliquer simplement les combinaisons adoptées depuis le concours.

Leur trait caractéristique.

12. Peut-être doit-on regretter que le principe fondamental commun aux machines *Wiener-Neustadt* et *Seraing*, c'est-à-dire la division du moteur en deux groupes indépendants, ait été si rapidement condamné. Il y avait en sa faveur un précédent très-concluant; M. Verpilleux l'a appliqué pendant longtemps, avec beaucoup d'avantages, aux machines affectées à la remonte des wagons vides sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon; et ce succès est d'autant plus significatif, que les circonstances de construction et d'entretien étaient certes médiocrement favorables à l'expérience.

Il est tout naturel, cependant, de n'accepter une semblable complication qu'en présence d'une nécessité bien démontrée. Aussi, quoique M. Verpilleux ait tiré un très-grand parti de son système, qui lui a permis de faire face aux exigences de son traité avec un matériel très-insuffisant avant cette modification, est-on revenu

depuis (27), avec beaucoup de raison, aux machines ordinaires à six roues couplées, largement suffisantes et dès lors bien préférables.

Machine de M. Engerth.

13. M. le conseiller Engerth s'est proposé pour but de s'écarter le moins possible du type consacré par une longue expérience, de n'admettre que des modifications décidément nécessaires. Ce but, il l'a atteint en partie; car, s'il n'a pas résolu complétement le problème, s'il n'a pas réussi à construire une machine de 150 à 160 mètres de surface de chauffe, à deux cylindres seulement, circulant *librement* (c'est-à-dire sans surcroît de résistance), dans des courbes de 190 mètres de rayon, et disposant de toute son adhérence, il est parvenu du moins à doter le Semring d'un moteur qui remplit les conditions essentielles d'un bon service.

C'est par une modification simple et heureuse du type américain, combiné avec la réunion de la machine et du tender, que M. Engerth a obtenu ce résultat. Il aurait pu même se borner à l'adoption pure et simple du système américain, sans autres modifications que l'alongement de la chaudière et l'addition d'une troisième paire de roues couplées. Le poids de l'approvisionnement d'eau, installé sur le bâtis de la machine, eût suppléé au défaut d'adhérence des rouesde l'avant-train.

Améliorations introduites par M. Engerth dans les machines américaines.

14. Cela suffisait à la rigueur; mais (et c'est en cela que consiste le mérite de la nouvelle machine), M. Engerth a profité de la latitude que lui donnait la longueur nécessairement considérable de la chaudière, pour introduire dans le véhicule américain un perfectionnement auquel les machines de dimensions ordinaires se prêteraient difficilement.

Transposition du train mobile à l'arrière.

15. On sait que le train mobile des machines américaines est placé à l'avant; cette mobilité des roues

directrices est évidemment défavorable à la stabilité du système, mais il faut bien accepter cet inconvénient dans les machines de longueur moyenne; si on plaçait le train à l'arrière, l'essieu moteur se trouverait beaucoup trop rapproché de l'avant et des cylindres, et beaucoup trop éloigné du centre de gravité du poids suspendu. Avec une longue chaudière, ces obstacles disparaissent; la longueur des bielles motrices deviendrait même excessive si les cylindres restaient à l'avant et l'essieu moteur vers l'arrière; en même temps, plus la longueur croît, plus le centre de gravité s'écarte de la boîte à feu. On a donc alors la faculté de placer dans la région antérieure des essieux très-chargés, solidaires avec le bâtis, recevant le mouvement des pistons, et de reporter le train mobile à l'arrière.

Position extérieure du châssis du train mobile.

La position de ce train, qui encadre alors la boîte à feu, entraîne des conséquences importantes; d'une part l'amplitude de ses oscillations est beaucoup plus limitée; mais ce n'est point une difficulté, car il suffit de placer le châssis extérieurement à ses roues pour ménager entre celles-ci et la boîte à feu un jeu très-suffisant pour les courbes les plus roides. D'un autre côté, on ne peut plus rattacher le train au bâtis, comme on le fait ordinairement, au moyen d'un triple étage de croisillons et d'une cheville ouvrière occupant à peu près le centre de figure du châssis; mais cette impossibilité n'est pas non plus un inconvénient, loin de là; et quand l'espace serait libre pour une cheville ouvrière centrale, l'auteur se serait bien gardé de l'adopter.

Position de l'axe de rotation en avant du train.

Ses avantages: 1° Stabilité plus grande du train mobile.

La légère excentricité qu'on donne à cette cheville dans les machines américaines ne suffit pas, en effet, pour combattre la tendance du train à osciller continuellement; tandis qu'en plaçant la cheville en dehors et en avant du rectangle des points d'appui, le train se

trouve en équilibre stable autour de la cheville, et, sauf l'absence des tampons, dans les mêmes conditions d'attelage que tous les véhicules.

2° Plus grande souplesse de la machine dans les courbes.

16. M. Engerth insiste beaucoup (1) sur une autre conséquence de cette position antérieure de la cheville, conséquence capitale, selon lui, pour la souplesse de la machine dans les courbes. Les machines et les wagons du système américain ne sont pas, sous ce rapport, exactement dans la même situation. Un wagon (Pl. IV, *fig.* 1), supporté à chaque bout par un train articulé à essieux parallèles mais très-rapprochés, possède une flexibilité parfaite. Chacun des trains obéit librement à l'action des rails, et se place normalement à la courbe, quelle que soit la distance qui le sépare de l'autre. La longueur du véhicule influe seulement sur l'obliquité de l'effort de traction, transmis au second train suivant la corde de l'arc moyen, tandis que le centre de ce train, ou plutôt le milieu de chacun de ses essieux, doit se mouvoir suivant la tangente à l'arc.

Conditions différentes, sous ce rapport, des locomotives et des wagons du système américain.

17. Il n'en est pas de même pour les machines, portées à l'avant, comme les wagons, par un train articulé, mais à l'arrière par un ou par deux essieux solidaires avec le bâtis. Si l'essieu rigide était exactement normal à la voie, la cheville ouvrière C se projetterait non sur l'arc moyen, mais sur sa tangente; l'écart CC′ (Pl. IV, *fig.* 2) a pour valeur d. arc sin $\frac{d}{2\rho}$, d étant la distance de la cheville ouvrière à l'essieu fixe et ρ le rayon de la courbe. Pour $d = 2^{m},50$, $\rho = 200^{mèt.}$, on a $\alpha = 22'$, $CC' = 0^{m},015$. Une obliquité de l'essieu sur le rayon, égale à 20 ou 25′, ne tirerait évidemment pas à conséquence : et la déviation de l'axe du véhicule

(1) Voir l'opuscule intitulé : *Die Lokomotive des Staats-Eisenbahn über den Semmering*, par W. Engerth. Vienne, 1854.

qu'exige l'inscription du train articulé entre les rails est, en réalité, moindre encore à cause du jeu de la voie; jeu qu'on augmente dans les courbes autant que le permet la largeur des jantes, afin d'atténuer, en favorisant l'effet de la conicité, le glissement relatif des roues conjuguées.

Le jeu de la voie, égal pour les machines à $0^m,006$ de chaque côté en alignement droit, est porté dans les courbes de 190^m du Semring à $0^m,006 + \frac{0^m,026}{2} = 0^m,019$ par le *surécartement* de $0^m,026$ donné aux rails; il suffit pour faire disparaître le glissement des roues des machines, parce que le bombement des rails a permis de donner aux bandages une conicité (1/8) plus grande que l'inclinaison des rails (1/10). Ce jeu est insuffisant pour les roues de wagons, dont la conicité est moins prononcée (1/10); mais c'est par suite du défaut de largeur de leurs bandages qu'il a fallu s'en tenir, pour le surécartement des rails, à $0^m,026$.

Faible importance pratique de cette considération.

18. Juste en principe, l'objection adressée par M. Engerth aux machines américaines n'a donc qu'une importance très-médiocre dans les limites d'écartement dont il s'agit. Mais le remède résulte si naturellement de la disposition même des machines à châssis postérieur, qu'on ne peut manquer de l'appliquer approximativement, si faible que puisse être son influence sur la liberté du mouvement en courbe. La cheville étant alors en O, entre l'essieu fixe et le train, la condition de la position normale du premier, sans déviation latérale du second, est évidemment (*fig.* 2) $OA = OC' = \frac{d}{2}$.

19. En réalité, ce n'est pas le centre C du train qui doit se placer sur la courbe moyenne, mais le milieu de chacun de ses essieux. Si on veut tenir compte de cette circonstance, la position de l'axe O est déterminée par la condition :

$$x^2 = (d - x + \delta)(d - x), \quad \text{d'où} \quad x = \frac{d(d+\delta)}{2d+\delta}.$$

δ étant la distance de ces deux essieux.

Et s'il y a deux essieux rigides, δ' désignant leur écartement, par celle-ci (*fig.* 3) :

$$x(x+\delta')=(d-x+\delta)(d-x), \quad \text{d'où} \quad x=\frac{d(d+\delta)}{2d+\delta+\delta'}.$$

Un motif particulier, l'installation de l'appareil de connexion des roues d'arrière, a déterminé le constructeur à s'écarter un peu de cette valeur, ce qui est du reste très-indifférent. Le train mobile à l'arrière de la machine, et la cheville notablement en avant du train, tels sont les points vraiment essentiels ; et par une heureuse coïncidence le second, qui est la conséquence nécessaire du premier (15), est en même temps très-avantageux par lui-même.

Approvisionnement placé sur la machine.

20. Quant à la difficulté capitale, celle qui consiste à utiliser toute l'adhérence sans sacrifier la flexibilité, l'auteur ne l'a pas résolue (car on ne peut guère regarder comme une solution pratique l'expédient indiqué plus bas, n° 22) ; mais il l'a tournée en plaçant sur la machine tout son approvisionnement, dont une grande partie est supportée par les trois paires de roues adhérentes sans que leur charge dépasse cependant la limite fixée, celle de 14 tonnes par essieu monté. Ce poids compense en partie la fraction du poids de la machine proprement dite, qui est portée par les roues libres, et perdue dès lors par l'adhérence. On a tenu compte ainsi de la nécessité, plus que probable, de renoncer à l'adhérence de deux paires de roues toutes les fois que la charge et l'état des rails le permettront, et on s'est rapproché des conditions habituelles, celles d'une machine à tender séparé, mais utilisant pour l'adhérence la totalité de son propre poids.

Autre avantage attribué par l'auteur à la disposition caractéristique de sa machine

21. L'auteur revendique en faveur de son type de machines un autre avantage, celui d'une adhérence relativement plus considérable que celle des machines américaines. « Les grosses

» machines du chemin du Sud autrichien n'utilisent, dit-il (p. 84), » que 39 p. 100 de leur poids, 18 tonnes sur 48. » Mais ce dernier chiffre comprend le poids du tender. La machine seule ne pèse, garnie, que 28t,8, de sorte que le poids adhérent s'élève en réalité à 65 p. 100 du poids de la machine; et rien n'empêcherait d'ailleurs de supprimer le tender, aussi bien dans ce système que dans celui de M. Engerth.

Moyen d'utiliser au besoin toute l'adhérence.

22. Pour tirer parti, au besoin, de l'adhérence du train articulé, M. Engerth a eu recours simplement à la combinaison d'engrenages appliquée il y a longtemps par Norris, constructeur américain. Malgré quelques perfectionnements de détail, ce mécanisme (Pl. III, *fig.* 3) n'est toujours qu'un pis-aller; par la nature des réactions saccadées qui s'y développent, il contraste malheureusement avec les mouvements continus et si bien réglés qui font de la locomotive actuelle une merveille de l'art. L'auteur a, du reste, fait preuve, à cet égard, du sens pratique dont tous les détails de sa conception portent le cachet; l'appareil à engrenage n'a été admis qu'à titre d'auxiliaire accidentel, et un mode d'embrayage bien connu permet de ne le mettre en jeu qu'en cas de besoin. Il est certain, en effet, que l'adhérence due à une charge de 39 tonnes (n° 47) suffira le plus souvent, malgré la petitesse des roues (1m,10), et avec une vaporisation d'une activité moyenne, pour utiliser la puissance correspondante à la surface de chauffe de ces machines (155m²). Mais il n'en est pas moins indispensable de se réserver le moyen de leur restituer à volonté toute leur adhérence; les essais faits sur deux machines à adhérence incomplète ou totale à volonté (d'abord la *Bavaria*, et plus récemment la machine *Lanau*, du nouveau système), l'ont prouvé de reste.

23. En somme, la machine due aux efforts réunis de M. Engerth et des ingénieurs de Seraing et d'Esslingen

paraît bien appropriée aux conditions spéciales en vue desquelles elle a été construite. Elle a sur la locomotive américaine ordinaire une supériorité réelle, et qui serait même plus saillante encore s'il s'agissait de machines destinées à une marche moins lente. A petite vitesse, la stabilité n'est, après tout, pas sérieusement compromise par la position antérieure du train mobile; mais il n'en est plus de même quand la vitesse croît; et la sécurité des voyageurs, dont le service est fait presque exclusivement en Autriche au moyen de machines américaines, gagnerait certainement à la transposition du train articulé; mais cette modification ne deviendrait facilement praticable qu'à condition d'allonger beaucoup les chaudières.

Application des machines du système Engerth, aux chemins à courbes de grand rayon. — Discussion de la question.

24. Mais le mérite très-réel d'ailleurs des machines *Engerth* justifie-t-il l'espèce d'engouement avec lequel elles sont accueillies en France par plusieurs compagnies de chemins de fer? et parce que ces machines, faites pour le Semring, lui conviennent en effet, doit-on les regarder comme le type par excellence des locomotives à petite vitesse, comme le puissant instrument destiné à obvier à l'encombrement des grandes lignes?

25. Sans doute, des dispositions semblables à celles qu'on a dû accepter au Semring pourraient devenir nécessaires également sur des lignes beaucoup plus favorisées sous le rapport du tracé; mais il faudrait pour cela que l'effort de traction à égalité de vitesse, et par suite la puissance et la longueur de la chaudière, excédassent de beaucoup les mêmes éléments dans les machines du Semring.

Ces machines ont une surface de chauffe de 155^{m^2}, en prenant l'aire de la convexité des tubes. Est-il impossible sur les chemins à courbes de 600^m, 500^m si l'on

veut, de se rapprocher beaucoup de ce chiffre, de le dépasser même, et cela sans augmenter le nombre des essieux, sans renoncer à leur parallélisme, sans exagérer les porte-à-faux, sans rien outrer dans la construction de la chaudière (28), sans dépasser les limites de poids et d'empatement qu'on doit s'imposer dans l'intérêt de la voie ?

Écartement des essieux rigides admis dans les machines à voyageurs.

26. Si on prenait pour base la pratique même des chemins de fer, sans en excepter ceux qui recourent aujourd'hui aux trains mobiles, on trouverait pour l'écartement des essieux extrêmes une limite très-large. Dans les machines Crampton, machines qui n'admettent aucun jeu pour l'essieu d'arrière, cette distance est, au chemin du Nord, de $4^{m},85$ pour le premier type et de $4^{m},70$ pour le second ; elle est également de $4^{m},70$ au chemin de Lyon. Si l'on n'a pas besoin d'aller plus loin, ni même jusque-là, pour installer convenablement des chaudières d'une puissance largement suffisante, pourquoi s'interdirait-on le parallélisme des essieux? pourquoi reculerait-on pour les machines à marchandises, devant un écartement qu'on ne craint pas de dépasser pour les machines à voyageurs? Le système Crampton a des avantages réels pour le service à grande vitesse, mais rien de plus : il n'est pas *nécessaire*, témoins le chemin d'Orléans, celui de Rouen, etc., sur lesquels la traction des *express* est faite par des machines à roues motrices intermédiaires. Si donc on adopte les machines Crampton, c'est qu'on admet que leurs avantages balancent, et au delà, leurs inconvénients, c'est qu'on regarde leur empatement comme très-tolérable sur des chemins à courbes de 800 et même 600 mètres.

Surface de chauffe qu'on peut obtenir sans exagérer l'écartement des essieux extrêmes.

27. On suppose, il est vrai, que des machines d'une puissance inférieure à celle qu'on réclame aujourd'hui (les grosses machines de 130 mètres de surface de

chauffe, mises en service sur le chemin du Nord) ont exercé une influence destructive sur la voie; mais l'empatement de ces machines qui est du reste, comme celui des *Crampton*, de $4^{m},70$, a été exagéré sans motif par la position de l'essieu d'arrière au delà de la boîte à feu; position presque indispensable pour les locomotives à marche rapide, mais qui n'est justifiée par aucun avantage pour les machines à petite vitesse, et qui a de plus l'inconvénient de conduire à une répartition fort inégale de la charge sur les trois paires de roues (1).

Exemples : Projet étudié au chemin de Lyon.

En plaçant la boîte à feu en porte-à-faux, il est facile d'obtenir, avec un moindre écartement des essieux, une surface de chauffe plus grande. Elle s'élève déjà à près de 135^{m^2} dans les machines en construction pour le Grand-Central (section de Rhône et Loire), avec un écartement de $3^{m},37$ seulement et des roues de $1^{m},30$; on a constaté, dans la discussion d'un projet à l'étude au chemin de fer de Lyon, qu'on peut, sans forcer aucun des éléments eu égard au tracé et à la solidité de la voie, porter la surface de chauffe à plus de 150^{m^2}; il suffirait pour cela de renfler notablement la boîte à feu et le foyer au-dessus des longerons, toujours placés à l'intérieur des roues.

La partie inférieure de la boîte à feu serait alors plus étroite que le haut du foyer : mais on en serait quitte pour mettre celui-ci en place par le haut, au lieu de l'introduire par le bas. Pour la construction, cela est tout à fait indifférent; pour l'entretien, en cas de remplacement du foyer, tout se réduirait à couper quelques rivets pour découvrir la boîte à feu, aggravation fort insignifiante d'une aussi coûteuse réparation.

28. On a même atteint et dépassé le chiffre de 200^{m^2}, dans quelques machines construites pour le *Great-Northern*, à l'époque

(1) La disposition de ces machines soulève d'ailleurs d'autres objections, indépendantes de leur action sur la voie.

où la lutte des deux largeurs devoie était à son paroxysme. Les locomotives du *Great-Western* avaient une surface de près de 200 mètres; il fallait, à tout prix, aller au delà; on a exagéré en conséquence le nombre des tubes, qui ont pris la place de l'eau et celle de la vapeur. C'était un médiocre tour de force.

Moyens faciles, mais dangereux, d'augmenter cette surface.

Pour augmenter la surface de chauffe sans exagérer les dimensions horizontales de la chaudière et le rapprochement des tubes, on a quelquefois donné à celle-ci une section elliptique, qui exige des tirants transversaux; mais cette forme présenterait aujourd'hui d'autant moins de sécurité, qu'on admet des pressions plus élevées. On l'a appliquée cependant aux nouvelles machines du Semring, mais l'excentricité est très-faible (grand axe : 1m,29; petit axe : 1m,23).

1° Chaudière à section elliptique.

2° Chaudière de Kessler.

On doit, à plus forte raison, rejeter les chaudières à deux segments cylindriques de *Kessler;* le moindre inconvénient de cette forme est de réduire la cheminée à une hauteur tout à fait insuffisante; et les objections capitales qui doivent repousser, quand il s'agit de très-hautes pressions, la forme elliptique prononcée, s'appliquent avec bien plus de gravité à celle-ci, qui n'a sur l'autre qu'un avantage d'ailleurs secondaire : c'est de reporter en dehors de l'espace occupé par les tubes, les tirants placés à l'intersection des deux cylindres.

Application de cette forme à des machines très-puissantes en Hanovre.

Ce mode de construction est cependant assez répandu en Allemagne; on l'a appliqué, par exemple, aux machines à six roues les plus puissantes, celles qui font la traction des marchandises sur le chemin du Sud hanovrien. Cette section de la ligne de Cassel à Brême est, sur une longueur de plus de 11 kilom., en rampe de 0,0156. Les machines, construites chez Wilson, à Leeds, remorquent 250t brutes sur cette rampe. Les pistons ont 0m,483 de diamètre et 0m,51 de course : l'écartement des essieux extrêmes est seulement de 3m,355, tandis que la surface de chauffe s'élève, sans difficulté, à 150 mètres environ (1). Le rapprochement de ces deux derniers chiffres est certainement séduisant, mais il y a le revers de la médaille : la hauteur exagérée de la chaudière (4m,15 au-dessus des rails), et la médiocre confiance que doit inspirer sa forme sous des pressions de 7 ou 8 atmosphères.

Influence de la position du châssis. Ses relations avec la position des cylindres.

29. Pour les machines à petite vitesse, le diamètre du corps cylindrique et par suite la surface de chauffe sont à peu près indépendants de la position du châssis,

(1) Le nombre des tubes est de 242.

à cause de la médiocre hauteur des roues; mais il n'en est pas de même d'un élément corrélatif très-important : la largeur de la boîte à feu, et par conséquent celle de la grille, que le châssis extérieur permet d'augmenter de $0^m,06$ environ.

Le châssis intérieur est généralement préféré, surtout pour les machines à marchandises, parce qu'il se combine mieux avec l'accouplement; cette préférence est motivée surtout, elle devient même aux yeux de beaucoup d'ingénieurs presque nécessaire, quand les cylindres sont placés à l'extérieur. Il convient d'entrer à ce sujet dans quelques détails.

Réaction actuelle contre les cylindres intérieurs.

Les cylindres intérieurs, combinés avec le châssis également intérieur, conduisent, pour les machines à roues d'avant couplées, à une simplicité d'aménagement évidente; aussi cette disposition était-elle devenue pour ainsi dire classique pour les machines à marchandises. Mais aujourd'hui une réaction très-prononcée se déclare contre la position intérieure des cylindres; cette réaction est fondée, dans tous les cas, sur le désir de supprimer l'essieu coudé; et, de plus, pour les machines très-puissantes, sur un inconvénient qui devient même, au delà d'une certaine limite, un obstacle absolu. On voit, en effet, reparaître alors des difficultés de même nature que celles contre lesquelles on a lutté à diverses reprises et toujours avec succès, les difficultés qui naissent de la faible largeur de la voie.

Ses causes.

Cas où ils deviennent tout à fait impossibles.

$0^m,43$, $0^m,44$ au plus, — telle est la limite du diamètre qu'admettent les cylindres intérieurs, quand les longerons sont intérieurs eux-mêmes. Tout l'intervalle compris entre ceux-ci est occupé alors par les cylindres; la boîte de distribution doit dès lors être appliquée contre leur partie inférieure, circonstance incontestablement défavorable pour l'entretien; l'ouvrier travaille, en effet, les bras *en l'air*, position fort incommode, surtout pour des réparations qui sont de leur nature, comme tout ce qui touche à la distribution, importantes et délicates.

Nécessité d'exhausser la chaudière.

D'un autre côté, les coudes de l'essieu, d'autant plus rapprochés l'un de l'autre que le diamètre des cylindres est plus grand, viennent se placer sous la région moyenne de la chaudière, et forcent à l'élever beaucoup. Cet exhaussement est très-considérable, car la course des pistons croissant avec leur diamètre, les manivelles sont d'autant plus longues qu'elles sont plus rapprochées.

Défaveur actuelle des essieux coudés.

30. Quant à la recrudescence de la répulsion qu'inspirent les essieux coudés, elle est justifiée par quelques faits récents. Il faut bien reconnaître que, malgré des progrès très-réels, la fabrication de ces essieux n'est pas aussi sûre d'elle-même qu'on l'a supposé pendant quelque temps; il est même douteux qu'on puisse jamais compter sur une pièce soumise à des efforts qui agissent d'une manière aussi défavorable, quand même elle serait complétement exempte de défauts d'exécution. Si l'on objectait le parcours considérable d'un grand nombre d'essieux moteurs de machines *Sharp* et *Roberts*, cette anomalie, qui constitue une négation apparente du progrès, serait facile à expliquer. Les gros essieux des machines actuelles sont d'une exécution incomparablement plus difficile que les petits essieux des anciennes locomotives. La suppression des longerons additionnels placés entre les manivelles a, de plus, aggravé les conditions du travail des derniers, beaucoup plus chargés d'ailleurs, et on conçoit que les perfectionnements de la fabrication ne puissent contre-balancer cette triple influence. C'est, du reste, une question toute spéciale, une question d'atelier; elle est en ce moment l'objet de recherches suivies de la part des hommes les mieux placés pour l'étudier et la résoudre (1). Si le succès répondait à leurs efforts, on ne tarderait certainement pas à revenir aux cylindres intérieurs dans le cas de l'accouplement des roues de devant, au moins pour les machines de puissance moyenne, dont les tiroirs peuvent trouver place entre les cylindres.

Mais, dans l'état actuel de la question, on s'accorde presque partout à reprendre le type si répandu il y a quelques années, si vivement critiqué ensuite, puis supplanté par la machine à cylindres intérieurs.

Reproches adressés aux machines à marchandises à cylindres extérieurs.

31. Les objections adressées à la position extérieure des cylindres dans les machines à marchandises ont été si souvent formulées, qu'il est presque inutile de les reproduire. Le surcroît de largeur de la machine; l'installation moins solide des cylindres indépendants l'un de l'autre; la longueur exagérée des mannetons des moyeux; la position des bielles motrices, placées en dehors des bielles d'accouplement des roues antérieures; la grande masse des pièces animées de mouvements relatifs concordants, et les contre-poids énormes qu'elle exige, tout en se renfermant dans les limites de l'équilibre vertical; tels sont, en deux mots, les griefs articulés contre les cylindres extérieurs appliqués aux machines à marchandises. Ces griefs ont paru assez graves pour qu'on ait cherché, en subissant le dernier

(1) Voir la note E.

inconvénient, à faire disparaître les autres au moyen d'une inclinaison très-prononcée des cylindres; mais on s'aperçut bientôt que c'était tomber de Charybde en Scylla; et comme les essieux coudés, mieux fabriqués, semblaient devoir inspirer plus de confiance, on fut conduit à regarder les cylindres intérieurs comme devant constituer le caractère définitif de la machine à marchandises.

On s'exagérait leur importance.

Mais on reconnaît aujourd'hui que, si on s'est exagéré les avantages de cette disposition, on s'est exagéré aussi les défauts de la disposition inverse. L'influence nuisible attribuée, *à priori*, à la longueur des mannetons n'a pas été confirmée par l'expérience. La masse perturbatrice des pièces du mécanisme et de l'accouplement, et, par suite, celle du contre-poids lui-même, peuvent être renfermées dans des limites très-tolérables, en allégeant ces pièces par la substitution de l'acier fondu au fer, substitution tout à fait usuelle en Allemagne. D'un autre côté, on réalise très-facilement, avec les cylindres extérieurs, une condition sur l'importance de laquelle il n'y a guère qu'une voix, celle de reporter le mouvement de distribution complétement à l'extérieur (1). La largeur de l'entre-voie et celle des ouvrages d'art laissent d'ailleurs généralement une marge suffisante pour l'écartement des cylindres.

Combinaison des cylindres extérieurs avec le châssis extérieur.

32. Quant aux châssis extérieurs, on peut sans doute critiquer leur combinaison avec les cylindres également extérieurs; elle aggrave incontestablement les inconvénients énumérés tout à l'heure (31); on conçoit donc qu'on évite de recourir à cette disposition, tant que l'espace compris entre les longerons intérieurs peut suffire; mais la présenter comme radicalement vicieuse, refuser de profiter de la latitude qu'elle donne (29) pour installer commodément sur des essieux rigides une machine très-puissante, à adhérence complète, c'est ce

(1) On y a renoncé, néanmoins, pour des machines étudiées avec soin, celles du chemin de Rhône-et-Loire (27). Il est incontestable que la position extérieure est moins essentielle pour les organes de la distribution que pour l'appareil d'alimentation, et qu'il est plus simple de les placer à l'intérieur. L'autre mode a cependant des avantages dont il ne faut pas faire trop bon marché.

qu'on serait fort embarrassé de justifier en présence de ce fait, que la combinaison dont il s'agit est appliquée dans des circonstances où on serait entièrement libre d'en choisir d'autres.

Elle est adoptée au chemin de fer d'Orléans.

Elle est, par exemple, adoptée exclusivement par un ingénieur parfaitement placé pour étudier sur la plus grande échelle les conditions techniques et économiques de la traction, et qui ne persisterait pas à appliquer un système vicieux. Si la disposition générale des nouvelles machines à marchandises du chemin d'Orléans semble au premier abord médiocrement satisfaisante, il faut bien reconnaître que l'expérience l'absout (1).

Ses avantages.

Avec le châssis extérieur, et les bielles motrices et d'accouplement appliquées sur des manivelles calées sur le prolongement des fusées en dehors du châssis, non-seulement on peut obtenir de grandes surfaces de chauffe et de grille sans exagérer la longueur de la chaudière, mais en même temps on a le champ libre pour la suspension, si difficile à loger, dans les machines très-puissantes, quand le châssis est intérieur. Si, dans le projet des nouvelles machines qu'il va construire, M. Polonceau s'est arrêté au chiffre de 130^{m^2}, c'est parce que cette puissance, qui assure la traction de 400 tonnes brutes sur des rampes de 0,005, lui suffit, et nullement à cause de la difficulté d'aller fort au delà.

La limite de puissance d'une machine à 6 roues couplées dépend plus du maximum de charge par essieu que de la surface de chauffe.

33. Mais on se trouverait bientôt arrêté soit par l'excès de charge par essieu, soit par le défaut d'adhérence (3) ; si l'on a fixé, au Semring, le maximum de 14 tonnes, c'est que la voie a été établie en conséquence, et partout ailleurs ce chiffre serait exagéré.

---

(1) On la rencontre aussi sur quelques chemins étrangers. j'ai vu, entre autres, deux machines de ce type, en construction aux ateliers de Vérone.

Les machines du Grand-Central citées plus haut (27) pèsent 30 tonnes vides et 36 tonnes garnies; elles atteignent donc la limite du poids, avec une surface de chauffe de 135 mètres au plus. Il est vrai que des machines de 150$^{m^2}$ au moins, faites d'après le projet mentionné en même temps (27), ne pèseraient pas davantage; mais peut être seraient-elles exposées à manquer souvent d'adhérence. Il en serait certainement ainsi pour les machines du chemin du Sud hanovrien (28), si l'on voulait utiliser plus complétement qu'on ne le fait leur puissance de vaporisation, car elles ne pèsent que 28 tonnes vides et 32 tonnes garnies.

Il importe, du reste, de remarquer que toutes les machines puissantes et à petites roues en seraient là; si elles ont ordinairement assez d'adhérence (3), c'est parce que la production de vapeur par unité de surface de chauffe y est, le plus souvent, très-limitée. On a admis pendant longtemps 60 kil. comme taux normal, en quelque sorte, de la vaporisation par mètre et par heure; on peut, sans doute, arriver là, mais ce serait beaucoup pour les grandes chaudières adoptées aujourd'hui, à cause de la longueur des tubes, de la petitesse relative du foyer et de l'ouverture qu'on tient avec raison à conserver à l'échappement. C'est ainsi, par exemple, que les machines de 100$^{m^2}$ du chemin de Lyon ne consomment que 80 à 85 litres d'eau par kilomètre dans les conditions du service régulier (c'est-à-dire en remorquant, y compris leur poids et celui du tender, 350 tonnes sur des rampes de 0,005, à la vitesse de 25 kil.). Cela revient à 21^k,25 par heure et par mètre, c'est-à-dire notablement moins que le chiffre ordinaire des chaudières fixes à bouilleurs, dans lesquelles il y a cependant beaucoup moins d'eau entraînée.

Cette vaporisation modérée est, sans doute, très-

avantageuse, économiquement parlant; elle est pour beaucoup dans la grandeur de l'effet utile obtenu du combustible. Mais on aurait certainement grand tort de regarder le chiffre de 24 à 25 kil. comme la limite pratique pour les longues chaudières actuelles. Les nouvelles machines du Semring, par exemple, produisent couramment de 40 à 50 kil. Avant d'augmenter à tout prix, comme on cherche à le faire aujourd'hui, la surface de chauffe, il faudrait d'abord utiliser mieux celle dont on dispose, dût-on pour cela sacrifier un peu de l'économie du combustible. Il faudrait, en un mot, faire pour les machines à marchandises ce qu'on fait habituellement pour les machines à voyageurs (1).

La limite de l'*effort de traction* dont est susceptible une machine à six roues résulte bien moins, en somme, de l'insuffisance de la surface de chauffe ou de la difficulté de l'augmenter, que de la double nécessité de faire croître corrélativement le poids adhérent, et de ne pas surcharger la voie. Une fois la limite de charge atteinte, il faudrait augmenter le nombre des roues; mais l'addition d'un quatrième essieu, sujette d'ailleurs à de graves objections s'il devait être couplé (45), ne serait praticable qu'avec de petites roues. Or, on tient, avec raison, à donner aux nouvelles machines la faculté de prendre, au besoin, une certaine vitesse; et quatre paires de roues de 1m,30, si ce n'est même 1m,50 de diamètre, conduiraient à un empatement la plupart du temps inadmissible, surtout pour des machines qui doivent franchir très fréquemment les courbes de changements de voies.

L'addition d'un 4e essieu rigide serait généralement impraticable.

Nécessité d'une charge égale sur toutes les roues, surtout pour les machines à très-grande surface de chauffe.

34. Puisqu'on est réduit à trois essieux, il importe donc beaucoup que chacun d'eux supporte le maximum admis pour la charge. La répartition uniforme du poids

(1) Voir la note F.

entre les roues couplées est toujours fort utile, puisqu'elle tend à réaliser l'égalité d'usure des bandages, et par suite la permanence de l'égalité des diamètres. Mais cette uniformité devient, on le voit, sous un autre rapport, une condition tout à fait impérieuse quand la surface de chauffe atteint un chiffre inusité, comme 140 à 150$^{m^2}$.

Jusqu'à présent, on se préoccupe fort peu en France de cette considération. Quand par hasard on le fait, on se contente de disposer les choses de manière à rendre l'uniformité *possible;* mais de la possibilité au fait, il y loin, avec le mode de suspension généralement appliqué. Il n'est donc pas inutile d'insister sur ce point trop négligé, et dont l'importance croît en raison de la puissance de traction qu'on s'efforce d'obtenir des machines à six roues.

Suspension des machines très-puissantes et à roues couplées.

35. Un corps P (Pl. III, *fig.* 6) étant supporté par trois points d'appui en ligne droite, on trouve facilement que l'égalité des pressions sur deux appuis contigus est toujours possible; l, l', d désignant respectivement les distances de l'appui intermédiaire aux deux extrêmes, et à la verticale du centre de gravité, la valeur commune des deux pressions égales est $\frac{P(l-d)}{2l+l'}$.....(a),

Conditions pour que la répartition uniforme soit possible.

et le troisième appui porte : $P - \frac{2P(l-d)}{2l+l'} = \frac{P(l'+2d)}{2l+l'}$ (b).

Mais pour que la répartition soit uniforme entre les trois appuis, il faut qu'on ait

$$(a) = (b) \quad \text{ou} \quad d = \frac{l-l'}{3} \ldots \qquad (c)$$

si cette condition est remplie, la pression, variable respectivement pour chacun des trois appuis, entre les limites suivantes :

	minimum.		maximum.
A.....	o	.....	$P\frac{l-d}{l+l'}$,
B.....	o	.....	$P\frac{l-d}{l}$,
C.....	$\frac{Pd}{l}$	.....	$P\frac{l'+d}{l+l'}$,

peut être la même pour tous les trois; et le mode de répartition qui s'établit effectivement, dans chaque cas, dépend de la

flexibilité des appuis, flexibilité qu'on peut faire varier à volonté quand ceux-ci sont chargés par l'intermédiaire de ressorts isolés.

Le mode de suspension ordinaire est convenable pour les machines à roues libres.

36. En France on se borne ordinairement, pour les machines à roues couplées comme pour les machines à roues indépendantes, à appliquer à chaque fusée un ressort distinct. Lors même qu'on se trouve, faute d'espace, dans la nécessité de renoncer à cette disposition pour l'essieu d'arrière, on remplace ses deux ressorts longitudinaux par un ressort transversal unique, et on ne change dès lors rien au principe : l'indépendance de la suspension sur chaque essieu.

Cette indépendance est très-avantageuse pour les machines à roues libres ; il importe, en effet, de pouvoir faire varier à volonté (35), suivant l'état des rails, la répartition du poids suspendu sur les trois essieux, et par suite le *poids adhérent*, pour concilier autant que possible les exigences de l'adhérence avec celles de la stabilité de la machine et de la conservation de la voie. C'est ainsi qu'on a été conduit, sur quelques lignes, à adopter deux règlements de répartition distincts, l'un pour l'été, l'autre pour l'hiver.

Il ne convient pas aux machines à roues couplées.

37. Il n'y a rien de semblable pour les machines à six roues couplées ; il n'y a pour elles qu'une condition unique, l'uniformité très-approchée de la répartition, dans l'intérêt commun de la machine et de la voie ; et surtout je le répète si la machine est très-puissante.

En supposant remplie la condition (*c*), l'égalité des pressions peut être facilement obtenue en plaçant sur un *six-ponts* la machine garnie. Mais cette égalité laissée ensuite à la discrétion du mécanicien, subordonnée au serrage trop fort ou trop faible d'un écrou, est à coup sûr gravement troublée dans la plupart des machines en service, qui ne sont réglées sur le *six-ponts* que quand une réparation les ramène aux ateliers. La surcharge à laquelle un essieu se trouve alors soumis peut certainement aller à 1 1/2 ou 2 tonnes, ce qui est beaucoup quand il s'agit d'essieux dont la charge normale atteint déjà le maximum, toujours fixé largement. Il importe de remarquer que cette surcharge est un fait grave, même sur les voies très-solidement constituées, à rails très-lourds ; car outre les phénomènes de flexion, il y a, sous de pareilles charges, ceux d'écrasement immédiat aux points d'application. Or, à charge [illegible], la surface initiale de contact est d'autant plus petite, [illegible] suite la concentration des pressions d'autant plus grande,

que le rail est plus fort et par conséquent moins flexible. Le bombement très-prononcé qu'on donne souvent aux nouveaux rails aggrave d'ailleurs cette concentration.

Utilité de la suspension à balanciers.

38. Les balanciers convenablement disposés permettent de réaliser à coup sûr, dès qu'elle est possible (35), l'uniformité permanente de la répartition. Ils ont d'ailleurs un autre avantage, précieux aussi pour les machines très-puissantes, et par suite à chaudière d'un grand diamètre : c'est de s'accommoder facilement, par les combinaisons variées qu'ils admettent, d'un espace très-restreint, tout à fait insuffisant pour les ressorts indépendants.

On leur reproche souvent d'entraîner, pour les longerons, des porte-à-faux excessifs; cette critique est fondée pour certains modes d'application du principe, mais non pour le principe lui-même (Pl. III, *fig.* 5).

Elle est plus utile encore pour les machines à six roues que pour celles à quatre roues couplées.

Dans les pays où l'usage des balanciers s'est répandu, en Allemagne par exemple, ils sont presque invariablement appliqués aux machines à quatre roues couplées, mais à elles seulement. Cependant la condition (*c*) étant presque toujours facile à remplir à très peu près, l'application des balanciers serait tout aussi motivée pour les machines à six roues que pour celles à quatre roues couplées; plus même, parce qu'on est généralement, dans les premières, plus près de la limite de charge. Et d'ailleurs quand l'uniformité de la répartition serait impossible, c'est quelque chose encore que d'assurer une fois pour toutes sa permanence, et que de savoir au juste où l'on est pour la pression par paire de roues.

Parmi les combinaisons très-variées auxquelles on peut recourir, et dont la description ne serait pas à sa place ici, je me borne à en indiquer une (*fig.* 5) qui paraît de nature à fixer l'attention des constructeurs. Je renvoie d'ailleurs aux notes placées à la suite de ce mémoire (1), quelques détails plus circonstanciés sur ce sujet.

Même avec les balanciers, on ne peut dépasser 36 tonnes pour le poids des machines.

39. Même en mettant à profit les avantages de ce mode de suspension, on ne peut admettre des machines de plus de 36 tonnes, car la limite de 12 tonnes par paire de roues est déjà élevée; et dès lors, tant que le diamètre des roues ne dépasse pas $1^{m},50$ environ, il n'y aurait pas d'intérêt à atteindre pour la surface

(1) Voir la note G.

de chauffe, quand cela serait possible sans inconvénient (28), un chiffre supérieur à 150^{m^2}, qui correspond à la traction de plus de 800 tonnes brutes sur niveau à la vitesse de 30 kilomètres.

Dans les trains dont la vitesse est médiocre et la masse toujours considérable, le coefficient de la résistance varie peu avec cette masse, parce que l'excès de résistance, par tonne, de la machine se répartit sur un assez grand nombre de wagons. Si la vitesse ne varie qu'entre des limites peu écartées, le coefficient est sensiblement constant, et la surface de chauffe doit évidemment être proportionnelle à la charge totale remorquée (machine comprise) et à la vitesse.

La relation entre la surface de chauffe S, la charge totale T (machine comprise), la vitesse V, et l'inclinaison n des rampes, exprimées respectivement en mètres quarrés, en tonnes, en kilomètres par heure, et en millièmes, peut alors être représentée, dans l'hypothèse d'une vaporisation modérée, favorable à la fois à l'utilisation du combustible et à l'effet utile de la vapeur, par la formule empirique :

$$S = 0{,}0058\,(1 + 0{,}2n)\,VT \quad (1).$$

Pour $S = 150^{m^2}$, $V = 30^k$, $n = 0$, elle donne $T = 862^t$.

---

(1) Voici quelques exemples de l'application de cette formule :

CHEMINS DE FER.	SURFACE de chauffe.	VITESSE.	Inclinaison.	CHARGE TOTALE (a) calculée.	CHARGE TOTALE (a) réelle ou prévue par le constructeur.	Observations.
	mèt. q.	kil.	mill.			
Lyon	100	25	5	345	350	
	130	25	8	345	350	(b)
Orléans	130	25	5	448	450	
Machines du chemin du Sud autrichien	100	22,75	0	753	664	(c)

(a) Y compris le poids de la machine.
(b) Section de Tonnerre à Dijon.
(c) Ces machines américaines à roues de $1^m,264$, et ayant seulement $18^t,76$ de poids adhérent sur $28^t,8$, manquent d'adhérence, ce qui explique la différence des deux chiffres.

Appliquée à des rampes exceptionnelles, comme celles du Semring, cette formule donnerait aussi pour T des valeurs trop grandes, malgré une vaporisation plus active et une vitesse moindre (15 kil.) que celles qu'elle suppose. Mais le coefficient de la résistance croît beaucoup, tant à cause du développement et de la roideur des courbes que par suite du petit nombre de wagons sur lesquels se répartit l'excès de résistance, par tonne, du moteur.

Si ce chiffre est véritablement insuffisant, il faut bien se résoudre à augmenter le nombre des roues, le poids et la longueur de la chaudière, et on peut, dès lors, être fondé à recourir aux machines à train mobile. Peu importe, avec une surface de chauffe aussi considérable, la faculté d'augmenter la vaporisation, car la résistance d'un train de 860 tonnes, à la vitesse de 20 à 30 kil., est trop près de la limite ordinaire de l'adhérence d'une machine de 36 tonnes. Si au contraire ce chiffre suffit, c'est gratuitement qu'on se décide à introduire dans le matériel des grandes lignes ce type compliqué.

La surface des machines actuellement en service en France n'excède presque jamais 100^{m^2}. C'est par exception qu'on a été, au chemin du Nord, jusqu'à 125^{m^2}, et en vue d'un service tout spécial, le transport des charbons. De 100^m à 150^m, le progrès est assez grand pour qu'on y fasse au moins une halte, au lieu de chercher à atteindre du premier jet un chiffre beaucoup plus élevé, mais sans nécessité, et au prix d'une foule d'inconvénients (41).

Des machines de 36 tonnes et 150^{m^2} suffisent.

Quel est, en effet, le chemin de fer de France qui se trouve aujourd'hui dans l'obligation absolue de remorquer d'un seul coup, — non pas accidentellement, car une machine de renfort y pourvoirait, mais régulièrement, — des charges équivalentes à plus de 800 tonnes brutes sur niveau? Aucun, à coup sûr. Et si on invoque non la nécessité, mais l'économie, l'accroissement de la masse des trains réduira, sans nul doute, la dépense de *traction* de la tonne-kilomètre. Mais obtiendra-t-on, en fin de compte, une réduction du prix de revient *total* de l'unité de trafic, et une simplification du service? Abstraction faite des inconvénients inhérents au moteur, sur lesquels je reviendrai dans un

[illegible]

[illegible]

[illegible]

sur les affluents à exécuter; mais cette situation n'est que temporaire, elle se modifiera par la force des choses, elle se modifie dès à présent. Les intéressés, c'est-à-dire les compagnies, font, cela est tout simple, de grands et légitimes efforts pour suffire à leur tâche, pour dissimuler le plus longtemps possible la nécessité des dérivations. Mais la dissémination des transports s'établira tout naturellement, par le seul fait des progrès du réseau et de la soudure des grandes lignes entre elles. Intéressées à prévenir la création de voies rivales, les compagnies tendent chaque jour davantage à prendre elles-mêmes l'initiative des dérivations, pour s'assurer à ce prix la conservation intégrale de leur trafic. Sous ce rapport, la constitution de grandes et puissantes compagnies est de nature à faciliter beaucoup la dispersion nécessaire du mouvement. Le public ne trouvera peut-être pas dans cette solution les avantages et les garanties que présente toujours une concurrence contenue dans de justes limites; mais elle lui assurera du moins, et c'est là l'essentiel, un développement de moyens matériels en rapport avec les besoins de la circulation, sans qu'on ait besoin d'exagérer la masse des trains et la puissance des machines, et de rompre ainsi les rapports qu'il convient de maintenir entre les éléments divers de l'exploitation.

Inconvénients de l'application aux grandes lignes des machines du système Engerth.

41. Transportée sur les chemins à grandes courbes, la machine du Semring n'a plus de raison d'être; ses avantages disparaissent, ses inconvénients surgissent. On a fait en France de grands sacrifices pour approprier les principaux chemins au matériel rigide; n'est-ce pas répudier le fruit de ces sacrifices, que d'appliquer à des courbes de 700 ou 800 mètres, des machines faites pour des rayons inférieurs à 200 mètres?

L'impossibilité de réaliser, avec un châssis rigide, la puissance véritablement nécessaire, eût été un argument sans réplique : mais si cet argument est détruit, sur quel autre peut-on se rabattre? quels sont les avantages à opposer à des inconvénients nombreux, dont plusieurs sautent aux yeux?

1° Inconvénients généraux de la solidarité de la machine et du tender.

Plus une machine est complexe, plus évidemment elle est sujette à faire aux ateliers des apparitions fréquentes et prolongées. Une locomotive du système Engerth y entrera non-seulement pour le compte de la machine proprement dite, mais aussi pour le compte des diverses parties solidaires avec elle, qui constituent dans les machines ordinaires le tender séparé. Il est clair que le mode d'articulation et d'accouplement par engrenages multiplie les chances de dérangements et d'avaries. L'appareil à engrenages, dit-on, se comporte bien jusqu'à présent au Semring. Soit; mais n'est-ce pas parce que sa mise en action est très-rarement nécessaire, par suite de la charge habituellement incomplète des machines, et qu'il ne fonctionne guère, jusqu'à présent, qu'à titre d'expérience?

Impossibilité d'utiliser toute l'adhérence dans les machines en construction pour le chemin du Nord.

42. On compte si peu, du reste, sur la valeur de cet expédient, ou bien on croit si peu (et peut-être bien à tort) à la nécessité d'utiliser, au moins de temps à autre, l'adhérence du train articulé, qu'on s'est interdit, dans les machines en construction à Esslingen pour le chemin du Nord, la possibilité même d'accoupler deux des essieux du train articulé, qui aura six roues. Les deux roues antérieures seulement auront le même diamètre que celles du châssis fixe (1m,30), et pourront recevoir le mouvement de rotation au moyen de l'engrenage à embrayage mobile. A quoi bon, dès lors, l'unité de la machine et du tender, quand elle aboutit

seulement, pour l'adhérence, à perdre sur le poids de la machine autant ou plus qu'on ne gagne par le poids de l'approvisionnement? Ne se trouvera-t-on pas parfois, faute d'adhérence, dans l'impossibilité d'utiliser à beaucoup près l'énorme puissance dynamique correspondante, même avec une vaporisation peu active, à une surface de chauffe de plus de 180$^{m^2}$ et à une pression de 8 atmosphères?

Limites dans lesquelles la réunion de la machine et du tender est motivée quand il ne s'agit pas d'augmenter l'adhérence.

43. Il en est du reste de la suppression du tender spécial, comme de beaucoup d'autres mesures, parfaitement fondées dans les circonstances auxquelles on les applique d'abord, mais dont l'extension dégénère ensuite en abus. La machine-tender est très-convenable pour les faibles puissances et les petits trajets. Le diamètre et la longueur de la chaudière sont peu considérables, l'approvisionnement peu volumineux; tout cela s'installe facilement sur un même véhicule, sans encombrement, sans gêner la conduite de la machine, sans dérober le mécanisme aux yeux du conducteur; on économise un véhicule, on simplifie les manœuvres de *mise en tête*, considération qui a son importance pour un service de banlieue, dont les départs se succèdent souvent à des intervalles très-rapprochés. Mais pour des machines de force moyenne, et à plus forte raison pour celles d'une grande puissance, la suppression du tender séparé n'a plus que des inconvénients sans compensation. A peine suffisant déjà pour la machine seule, l'espace est encombré par des caisses à eau aussi gênantes pour l'examen des diverses pièces de la machine en marche, et pour le graissage, que pour les réparations aux dépôts et aux ateliers. A ces inconvénients s'ajoute quelquefois (comme dans les machines-tender à quatre roues couplées, commandées pour une des lignes en cours d'exécution) celui d'une charge tout

à fait excessive des roues d'arrière. Une semblable machine fatiguera la voie autant et plus, et n'aura ni plus ni moins d'adhérence, que si on avait couplé les six roues, et débarrassé le châssis de tout l'attirail qui l'obstrue.

Si dans l'origine, les locomotives, alors peu puissantes, avaient porté leur approvisionnement, le même principe eût naturellement continué à prévaloir ensuite, malgré l'accroissement de la puissance; puis on eût senti, à partir d'une certaine limite, la nécessité de simplifier la machine en la débarrassant de tous les accessoires qu'il est possible de répartir sur un véhicule distinct; et cette séparation eût été présentée, non sans raison, comme un progrès réel.

Objection contre l'approvisionnement considéré comme élément d'adhérence.

44. Si d'ailleurs il est convenable et nécessaire même dans certains cas particuliers, d'utiliser pour l'adhérence tout ou partie du poids du tender, cet expédient est sujet à une objection grave : l'approvisionnement s'épuise en marche, et son poids peut faire défaut précisément au moment du besoin.

Inconvénient de la multiplicité des roues.

45. La multiplicité des roues est surtout, pour les machines à grand effort de traction, un inconvénient capital. Il faut bien multiplier les points d'appui, quand le poids augmente; mais c'est un motif de plus pour ne pas exagérer ce poids sans nécessité, car la condition de maintenir entre toutes les roues couplées une rigoureuse égalité de diamètre, devient de plus en plus onéreuse à mesure que leur nombre augmente. Déjà dans l'état actuel des choses avec six roues couplées, quand des bandages sont mis au rebut comme trop minces, ils ont perdu plus d'épaisseur sur le tour que par l'usure en service. Que sera-ce avec huit roues, avec dix ?

Projet de machines à 8 roues couplées, mais formant deux groupes indépendants.

46. Parmi les projets qu'a suggérés l'étude de la question à l'ordre du jour, on en remarque un dû à M. Delpech, l'habile ingénieur des ateliers du chemin de Lyon. La surface de

chauffe s'élève à 170^{m^2} et le poids à 50 tonnes; il est réparti sur huit roues de $1^m,50$, toutes adhérentes; pour échapper à l'accouplement de toutes ces roues, qu'il repousse avec raison, l'auteur est conduit à dédoubler le moteur : il y a donc à chaque extrémité de la machine deux pistons agissant sur quatre roues. C'est, sauf la rigidité des essieux, le principe des machines *Wiener-Neustadt* et *Seraing* (12), principe judicieux, et qui, à la propriété d'utiliser toute l'adhérence, joint celle de diviser les roues couplées en deux groupes indépendants. Mais cette indépendance, toute précieuse qu'elle soit, serait achetée trop chèrement par un dédoublement qui laisserait subsister la rigidité complète. L'écartement de $5^m,25$ auquel conduirait la combinaison examinée au chemin de Lyon, serait exagéré, sans compter les inconvénients du jeu à contresens de la conicité, pour les deux paires de roues intermédiaires; inconvénients déjà sensibles avec les flèches de courbures correspondant à des écartements beaucoup moindres, et avec un seul essieu intermédiaire.

L'égalité des diamètres doit être rigoureusement maintenue pour les 10 roues des machines Engerth.

47. Dans les machines Engerth, il faudra toujours, en vue d'une insuffisance accidentelle de l'adhérence, et de l'embrayage temporaire des pignons, maintenir une parfaite égalité de diamètre entre les roues de la machine et les roues couplées de l'arrière-train; l'usure d'un seul bandage exigera donc qu'on tourne les neuf autres, de sorte que l'entretien des roues ramènera la machine aux ateliers, deux ou trois fois contre une pour les machines ordinaires. Cette assertion ne semblera certainement pas exagérée si l'on remarque combien est grande la disproportion des charges des roues, la machine étant garnie d'eau et de bois.

Voici la répartition normale :

		tonnes.		tonnes.
Roues solidaires avec le châssis.	Avant. . . .	13,748	Poids adhérent permanent.	39,284
	Milieu. . . .	12,488		
	Arrière. . .	13,048		
Roues de l'arrière-train.	Avant. . . .	8,120	*Id.* facultatif.	16,860
	Arrière. . .	8,680		
				56,084

Cette disproportion (de $8^t,1$ à $13^t,7$) est d'autant plus grave

que les quatre roues les moins chargées, formant aussi, le plus souvent, un système indépendant des six autres, ne sont pas soumises au même degré que celles-ci aux glissements qui résultent de la solidarité établie par les bielles. Leur usure devra donc, par ce double motif, être beaucoup plus lente.

3° Inconvénients des machines d'une masse excessive.

48. Ce n'est pas tout : on sait quel temps considérable exige parfois le garage d'une machine déraillée ou qui a éprouvé quelque avarie affectant le véhicule, telle, par exemple, que la rupture d'un bandage. Avec des colosses aussi peu maniables que ceux qu'on se prépare à mettre en circulation sur nos chemins, l'accident le plus simple pourra exiger un déploiement inusité de moyens mécaniques, et, ce qui est plus grave, des retards très-prolongés ; de sorte que ces machines, introduites dans le but de déblayer rapidement les voies, pourront, dans plus d'une circonstance, produire précisément l'effet inverse et causer dans le service de graves perturbations.

4° Inconvénients des types de matériel trop nombreux et trop spéciaux.

49. Ajoutons enfin que tout le monde est d'accord en principe sur les inconvénients qu'entraînerait la multiplicité exagérée des types qui composent le matériel roulant. Il faut se garder d'introduire, sans nécessité, soit dans le matériel de transport, soit dans le matériel moteur, des catégories trop spéciales, d'une destination exclusive. Les machines Engerth sont assurément peu propres à suppléer au besoin les machines ordinaires, soit pour le service proprement dit, soit même pour la réserve ou les renforts. Il faudra de plus leur affecter, dans les ateliers, une installation toute spéciale.

Conclusion.

50. En résumé, malgré quelques imperfections réelles (1), la machine Engerth constitue un progrès

(1) Voir la note I.

incontestable, parce qu'elle s'adapte à des conditions qui n'admettent pas les locomotives à châssis entièrement rigide, et qu'elle est d'ailleurs préférable à la machine américaine ordinaire. Suppléer la locomotive rigide quand celle-ci devient impossible, tel est son rôle; mais vouloir la substituer au type ordinaire quand il est encore compatible avec les exigences du tracé, ce ce n'est pas appliquer le progrès, c'est le dénaturer.

Sans doute, la locomotive, sous sa forme actuelle, ne peut être regardée comme le dernier mot de l'art, pas plus qu'on peut voir un état définitif dans l'ensemble des conditions du mouvement des hommes et des choses sur les voies terrestres. Ces conditions se transformeront, et la locomotive avec ou avant elles. Qu'il surgisse un principe nouveau, d'une application vraiment générale, et l'industrie des chemins de fer, — l'industrie progressive par excellence, — se hâtera de l'adopter. Mais il est impossible de voir dans la machine de M. Engerth autre chose que ce qu'il y a vu lui-même, c'est-à-dire la solution partielle d'un problème local, tout spécial, solution qui ne saurait être appliquée avantageusement en dehors des conditions mêmes de ce problème (1).

---

(1) L'administration du chemin de fer de Lyon, qui avait d'abord partagé l'engouement qui accueille les machines Engerth, a pris, en y regardant de plus près, le parti fort sage de laisser ces machines aux chemins très-contournés, pour lesquels elles sont faites. Cet exemple est significatif; s'il y a un chemin qui, par l'importance de son trafic, par la longueur et l'inclinaison de ses rampes, ait besoin de machines puissantes, c'est à coup sûr celui de Lyon; on s'en tient cependant, pour la section si laborieuse de Tonnerre à Dijon, aux machines de 130^{m^2} environ construites sur le modèle dit : du Grand-Central. On ne renonce pas, néanmoins, à obtenir une puissance plus grande, mais pourvu que ce ne soit pas au prix des propriétés les plus essentielles des machines ordinaires.

Locomotive articulée de MM. Arnoux et Meyer.

Parmi les projets de machines destinées à franchir les courbes très-roides, tout en conservant une grande adhérence, un des plus remarquables est celui de MM. Arnoux et Meyer, dont il a été déjà question dans les *Annales des mines* (1). Cette machine a été conçue au point de vue tout spécial du système articulé, mais le succès du principe hardi et radical sur lequel elle est fondée aurait peut-être un portée plus générale. Si l'expérience consacre l'indépendance des deux groupes de roues motrices disposés de part et d'autre de la chaudière, il est possible que ce résultat trouve son application en dehors du matériel articulé à galets directeurs. En remplaçant chacun des essieux extrêmes par un petit train à quatre roues, on aurait une machine américaine à douze roues, dont les quatre intermédiaires, adhérentes, pourraient être très-chargées par suite de l'installation de l'approvisionnement sur le châssis. En allongeant la chaudière et portant à six le nombre des roues adhérentes, on obtiendrait un moteur beaucoup mieux approprié peut-être aux exigences du Semring que toutes les combinaisons déjà essayées, y compris celle de M. Engerth.

Application que ce principe pourrait recevoir en dehors du système articulé.

On saura bientôt, du reste, à quoi s'en tenir sur la valeur de ce système. Une machine construite avec un soin extrême, et qui porte dans tous ses détails le cachet de l'esprit à la fois pratique et inventif de ses auteurs, va être incessamment terminée. Il suffira, pour la mettre en expérience sur une grande ligne, de caler les deux essieux extrêmes, après avoir enlevé leurs châssis directeurs.

---

(1) 5e série, tome IV (1853), page 323.

NOTES DU MÉMOIRE PRÉCÉDENT.

NOTE A (n° 6).

Inconvénients de la longueur excessive des trains de marchandises.

Il est bien difficile que le mécanicien soit prévenu à temps d'un accident survenu à 200 ou 250 mètres de la machine. On a vu, par exemple, des incendies se déclarer en marche, le train parcourir plusieurs kilomètres avec un wagon en feu, et ne s'arrêter qu'à une station, malgré le serrage des freins et les cris d'alarme des conducteurs, d'ailleurs trop peu nombreux. Souvent aussi, le mécanicien, trompé par la longueur du train, le gare incomplétement au droit d'un croisement, et expose ainsi les wagons de queue à être pris en écharpe par un autre train survenant sur la voie latérale.

NOTE B (n° 7).

Destruction du matériel par le fait des manœuvres à bras.

Ce matériel passe sur une même ligne par tant de mains différentes, qu'il serait difficile de créer aux hommes d'équipe un intérêt à le ménager par l'allocation de primes d'entretien. Cela deviendra même tout à fait impraticable par suite de la circulation réciproque, qui prendra chaque jour plus d'extension pour les wagons à marchandises. Mais ce qui n'est nullement impossible, c'est de réformer les allures, tant soit peu brutales, des hommes d'équipe, et d'atténuer ainsi la part trop réelle qui leur revient dans la destruction du matériel.

NOTE C (n° 7).

Emploi régulier de deux machines.

C'est le parti auquel on s'est arrêté provisoirement pour le passage de l'Apennin (ligne de Turin à Gênes). Les machines, construites à Seraing, n'ont que quatre roues et fonctionnent toujours par couple. On a jugé utile de les rendre solidaires au moyen d'appendices ou espèces de tenons en fer, rivés à l'avant de la seconde machine, s'engageant dans des mortaises ménagées à l'arrière de l'autre, et serrés entre un boulon et un tampon à ressort.

Les inconvénients de l'emploi permanent de deux machines sont incontestables; ils sont plus évidents que ceux qu'en-

traîne l'application des machines du système Engerth. Mais ce n'est peut-être pas à dire pour cela qu'ils soient plus graves.

Note D (n° 8).

Il l'application des contre-poids aux machines.

Quelques ingénieurs ont cherché, en Allemagne et en France, à établir qu'il y aurait beaucoup d'avantage à s'écarter, en matière de contre-poids, de la pratique suivie depuis longtemps en Angleterre et qui donne l'équilibre vertical, pour se rapprocher de l'équilibre horizontal. On pourrait même croire, d'après les affirmations émises à ce sujet, que le dernier a été et est encore la règle incontestée des constructeurs. Il s'en faut du tout au tout : *les locomotives pourvues des contre-poids de l'équilibre horizontal sont fort rares aujourd'hui ;* et cela, non-seulement en France, mais même en Allemagne. Malgré la faveur avec laquelle cet équilibre a été d'abord accueilli dans ce pays à la suite des expériences de M. Nollau, malgré la faible vitesse qui atténue ses inconvénients, il ne s'y est, à mon grand étonnement, nullement généralisé; on remarque même un grand nombre de machines complétement dépourvues de contre-poids (1), ce qui n'en vaut pas mieux, car le défaut produit ici exactement les mêmes résultats que l'excès.

On connaît les résultats de la tentative faite pour augmenter les contre-poids des machines Crampton (2), auxquelles les

---

(1) Un constructeur allemand bien connu, Kessler, a cherché à employer comme régulateur du mouvement de translation de la machine, le mouvement de rotation des roues motrices : il leur donne dans ce but une masse et un moment d'inertie très-considérables, pour en faire des volants d'une grande puissance. La paire de roues de 1m,60 de diamètre pèse 3.100 kilog. Le poids total de la machine vide est de 20 tonnes seulement. Ces roues sont entièrement en fonte, coulées d'une seule pièce, et sans sections dans le moyeu. La jante et les rais ont le même équarrissage, de sorte que le retrait s'opère dans toutes les parties de la roue, uniformément et sans tension, sauf celle qui résulte de l'inévitable inégalité des vitesses du refroidissement dans l'étendue d'une même section transversale.

Je ne cite cet exemple que comme une preuve de plus du sentiment général de l'insuffisance, d'ailleurs si évidente, des contre-poids. On ne songerait pas à de semblables expédients, si l'on était en possession d'une solution irréprochable.

Il faut reconnaître du reste que les machines du chemin bessois (de Ludgwigshafen à Mayence) montées sur des roues motrices de Kessler, ont à grande vitesse une allure parfaitement régulière. Malgré leur masse, ces roues fatiguent d'ailleurs la voie incomparablement moins que des roues légères, mais dans lesquelles de gros contre-poids détruisent la symétrie, et mettent dès lors en jeu l'inertie, au lieu du poids.

(2) *Des contre-poids appliqués aux roues motrices des machines locomotives*, etc.; par M. Couche. (*Annales des mines*, 5e série, tome III, page 427.)

constructeurs, MM. Cail et compagnie, ont toujours appliqué un équilibre très-rapproché de l'équilibre vertical (1). Les contre-poids exagérés sont d'ailleurs, désastreux pour la voie, surtout à grande vitesse, non-seulement par l'énorme surcroît périodique de pression dû à leur inertie, mais aussi, indirectement, par les *plats*, dont ils déterminent la formation sur les bandages. Nul ingénieur n'ignore qu'un *plat*, même très-peu prononcé, suffit pour déterminer les ruptures des rails, sans compter les trépidations saccadées tout à fait caractéristiques qui en résultent pour la machine, au grand dommage de tout le mécanisme.

Production des *plats* sur les bandages.

La production de ces *plats*, sous l'influence des contre-poids de l'équilibre horizontal, a été contestée. Il est certain, en effet, qu'elle doit être très-peu prononcée en général; mais c'est tout simplement en vertu du principe: *Ablat· causâ, tollitur effectus*. Les contre-poids de la plupart des machines en service excédant très-peu (si ce n'est pas du tout) l'équilibre vertical, il n'y a pas de raisons pour qu'il se forme des flaches. Loin de déterminer leur production, le contre-poids l'empêche dans ces limites, puisqu'il annule l'influence des pièces du mécanisme. De nombreux relevés de profil, faits aux ateliers d'Épernay, n'indiquent guère autre chose que l'absence de toute loi dans la position des *maxima* d'usure relativement au contre-poids; cela était évident *à priori*. C'est seulement pour des roues pourvues, ou à peu près, de l'équilibre horizontal que ce mode d'observation aurait eu de l'utilité; appliqué aux autres, caractérisées précisément par la suppression de la cause qui tend à produire les flaches, il ne peut constater qu'un fait: leur absence, ou leur distribution tout à fait irrégulière, puisqu'elles sont dues seulement, alors, au défaut d'homogénéité du fer. Il n'y avait pas besoin d'expériences pour arriver à une semblable conséquence.

Elle est nulle avec l'équilibre usité généralement.

M. Yvon-Villarceau vient de calculer les éléments d'un tâtonnement méthodique qui doit recevoir prochainement son application; le contre-poids de l'équilibre vertical annule la

(1) Dans les machines à roues de 2m,30 livrées par les mêmes constructeurs au chemin de fer de l'Est, le contre-poids est égal aux 5/9 seulement de celui de l'équilibre horizontal.

Dans les machines Crampton du chemin de Lyon, l'équilibre vertical n'est même pas atteint, ainsi qu'on l'a constaté aux ateliers; le contre-poids est donc trop faible.

projection verticale du déplacement du centre de gravité de la chaudière; le contre-poids horizontal annule sa projection horizontale; en calculant les contre-poids qui annulent ce déplacement projeté sur des directions intermédiaires assez rapprochées, et appliquant respectivement à plusieurs machines d'une même série la valeur *minimum*, et un certain nombre de valeurs intermédiaires, on obtiendra, avec le temps, la solution la plus convenable pour chaque type. Elle ressortira tout naturellement de l'observation comparative des circonstances de la marche et de l'entretien.

NOTE E (n° 25).

Sur la fabrication des essieux coudés.

Les établissements les plus renommés, ceux dont la marque est regardée ordinairement comme une garantie de la qualité de leurs produits, échouent souvent dans la fabrication des essieux coudés. Aussi, quoique les ingénieurs aient soin de se faire livrer ces essieux bruts de forge et de refuser ceux dans lesquels le travail au tour décèle les moindres défauts, ce sont toujours des pièces suspectes, même après l'examen le plus minutieux.

La maison Jackson, Petin et Gaudet, à laquelle l'industrie du fer et notamment l'élaboration de grosses pièces de forge doit de si remarquables perfectionnements, n'a pas négligé de lutter contre des obstacles analogues à ceux qu'elle a si souvent rencontrés et vaincus; ces habiles industriels ont bien voulu me communiquer les résultats de leurs recherches.

Procédé ordinaire.

Dans le procédé ordinaire, les manivelles sont découpées à froid (Pl. IV, *fig.* 5) dans un plateau obtenu par le corroyage d'un paquet de barres plates. En admettant même que la soudure *à cœur* soit parfaite, la résistance des plans de soudure est toujours moindre que celle des fibres du métal; or, comme il y a toujours une surface de soudure mn, $m'n'$ voisine du raccordement des coudes avec le corps de l'essieu et par suite de l'axe de rotation cc', il y a toujours aussi une section de moindre résistance qui coïncide à très-peu près avec celle dans laquelle se développe l'effort moléculaire maximum (1). Il faut donc cher-

(1) On sait que la rupture s'opère, en effet, presque invariablement à la base des manivelles. On a eu quelques exemples de rupture du corps même de l'essieu (tout récemment, par exemple, au chemin de Lyon), mais ce sont des anomalies; il n'y a pas plus de tendance à ce mode de rupture dans les essieux coudés que dans les essieux droits.

cher à atténuer les effets de cette coïncidence; pour y parvenir, les habiles constructeurs de Rive-de-Gier opèrent comme il suit : on trace le contour des coudes sur le paquet corroyé, formé de barres en long; puis on fait de chaque côté une recharge sur les coudes au moyen de mises transversales *p*, *p*, avec amorces de soudure. Quelques expériences faites à l'usine indiquent que cette consolidation au moyen de métal *de fil* augmente notablement la résistance des manivelles à la rupture par le choc. Reste à savoir si elle exercera une influence égale sur la résistance aux efforts qui tendent incessamment, dans le service, à détruire la solidarité produite par la soudure.

Perfectionnement introduit par MM. Jackson, Pétin et Gaudet.

Les dimensions qu'exigent aujourd'hui les essieux coudés et qui augmentent d'autant les difficultés de la fabrication, et les conditions très-défavorables dans lesquelles ils travaillent, compliquent beaucoup le problème. Un léger défaut, sans conséquence pour les essieux droits, est désastreux pour ceux-ci. Si la solution est possible, on la trouvera sans doute dans l'emploi de l'acier fondu et martelé, qui possède seul ces deux propriétés : grande résistance et homogénéité complète. Les constructeurs allemands, familiarisés depuis longtemps avec l'application de l'acier fondu aux diverses pièces du mécanisme et aux essieux droits, n'ont pas négligé d'en tirer parti pour la fabrication des essieux coudés. M. Krupp, entre autres, en a déjà livré un certain nombre. MM. Jackson Petin et Gaudet étudient également la question à ce point de vue, et ils ne tarderont pas à livrer aux chemins de fer des produits qui répondront sans doute à toutes les exigences.

NOTE F (n° 33).

La vaporisation est habituellement plus active dans les machines à voyageurs que dans celles à marchandises.

La vaporisation brute, par unités de surface et de temps, est ordinairement plus considérable dans les machines à voyageurs que dans celles à marchandises, mais sans qu'il en soit nécessairement ainsi, car la vitesse de translation n'a, en elle-même, aucune influence sur la production de vapeur. Si cette différence existe habituellement, c'est uniquement parce que le rapport de la vitesse de translation au rayon des roues motrices, et par suite le nombre de tours des roues ou le nombre de remplissages des cylindres, est plus grand dans les machines à voyageurs que dans les machines à marchandises. Par exemple, une locomotive Crampton, à cylindres de $0^m,40$ et

$0^m,55$ de course et à roues de $2^m,10$, marchant à 50 kil. avec pleine admission (80 p. 100 de la course), le volume engendré, par seconde, par les pistons est $0^{m3},234$. Pour une machine à marchandises de Lyon, à roues de $1^m,50$, à cylindres de $0^m.42$ sur $0^m,60$ de course, marchant à 30 kil. avec pleine admission (78 p. 100), ce volume est $0^{m3},224$. Les surfaces de chauffe étant les mêmes, la pression maintenue au même taux, le foyer également rempli, l'échappement au même degré de serrage, il n'y a pas de raison pour que la combustion et la vaporisation diffèrent notablement d'une machine à l'autre. Mais si la machine Crampton porte sa vitesse à 80 kil., il faut bien activer la vaporisation, pour suffire à cet accroissement de dépense en maintenant la pression (1).

Ce qu'on fait alors pour obtenir un accroissement de vitesse avec un effort de traction non-seulement égal, mais plus grand, rien n'empêche de le faire aussi dans les machines à marchandises, pour obtenir, avec une vitesse égale ou un peu moindre, un effort de traction plus grand. Mais il faut que l'état des rails et par suite l'adhérence le permettent. C'est ainsi qu'au Semring la machine *Lanau* a pu utiliser, même à une très-faible vitesse (15 kil.), une production brute de vapeur de 50 kil. par heure et par mètre quarré, mais à condition de marcher avec l'arrière-train couplé, et de disposer ainsi non-seulement de sa propre adhérence, mais même de celle du tender.

NOTE G (n° 38).

Sur la suspension à balancier.

r, r', r'', désignant (Pl. III, *fig.* 5) les rapports des bras de chacun des trois balanciers, et x la pression sur le support m; les pressions sur les autres, n, p, q, s, v, seront respectivement x, rx, rx, $rr'x$, $rr'x$ et $rr'r''x$.

Les conditions d'équilibre sont :

$$x(1+2r+2rr'+rr'r'') = P. \qquad (a)$$

$$x[(1+r)l'-rr'(1+r'')l]+Pd = 0. \qquad (b)$$

La condition de l'égalité des charges sur les essieux donne :

$$1+r=(1+r')r=(1+r'')rr',$$

(1) La production n'a pas besoin, toutefois, de croître dans le même rapport que la vitesse, la vapeur arrivant d'autant plus détendue dans le cylindre, à égalité de pression initiale, que le piston se meut plus vite.

ou $$rr' = 1,\ r'r'' = 1, \quad \text{d'où} \quad r' = \frac{1}{r}. \qquad (c)$$

$$r'' = r. \qquad (d)$$

Reportant ces valeurs dans (a), il vient : $x = \frac{P}{3(1+r)}$, et dans (b) : $d = 1/3\,(l' - l)$, c'est-à-dire l'équation de condition connue (35).

On peut donc, cette condition étant remplie, réaliser l'uniformité de la répartition, quel que soit r, et prendre, dès lors, ce rapport à volonté, de manière à satisfaire à certaines convenances de construction.

1° Si, par exemple, on veut que les deux ressorts soient également chargés, on a : $rx\,(1+r') = rr'x\,(1+r'')$ ou $r = 1$, et si l'on donne aux trois balanciers la même longueur t, les longueurs des ressorts sont respectivement $l - t$, $l' - t$. Comme ils doivent avoir la même flexibilité, le rapport de leurs équarrissages doit être déterminé en conséquence.

Les pressions sur les deux appuis intermédiaires du longeron seront alors aux pressions sur les deux appuis extrêmes :: 2 : 1 ; ce rapport est convenable ; mais l'égalité de longueur des bras articulés, l'un avec un ressort, l'autre avec des pièces rigides, n'est pas exempt d'inconvénient. Il conviendrait évidemment de donner une moindre longueur au bras conjugué avec le ressort, pour augmenter, à égalité de flexion de celui-ci, l'amplitude du déplacement vertical de la roue relativement au châssis. Mais par suite des relations (c), (d), qui lient les longueurs des balanciers, un rapport favorable à l'un des extrêmes serait, par cela même, très-défavorable à l'autre ; ainsi, sous ce rapport, mieux vaut l'égalité. Il s'agit, du reste, de machines à allure assez lente, peu sujettes aux soubresauts, aux grandes oscillations des ressorts, et pour lesquelles l'inconvénient en question est dès lors d'un ordre secondaire.

2° Si à la condition de l'égalité des charges sur les deux ressorts on ajoute celle de l'égalité des équarrissages, ils doivent avoir aussi la même longueur, et on a, entre les longueurs t, t', t'' des trois balanciers et la longueur commune u des ressorts, les relations :

$$l' - \frac{t+t'}{2} = l - \frac{t'+t''}{2} = u.$$

Deux de ces quatre quantités peuvent donc être prises arbitrairement.

Influence de la pression de la vapeur sur la répartition.

La répartition du poids sur les essieux est modifiée par les *bosses* de la voie, par les déplacements irréguliers de la chaudière relativement aux roues, etc.; mais elle est soumise de plus à une cause perturbatrice permanente dans son action, variable dans son intensité, c'est la pression de la vapeur sur les pistons; que la machine marche ou non, la distribution des charges varie, à cause de l'obliquité des bielles, par le seul fait de l'admission de la vapeur dans les cylindres.

La considération de la pression individuelle sur chaque roue étant plus importante que celle de la pression résultante sur l'essieu, il suffit d'examiner ce qui se passe de chaque côté de la machine. β désignant l'angle variable de la manivelle avec l'horizontale, ρ le rayon de la manivelle, b la longueur de la bielle, Π la pression totale effective sur le piston, on trouve facilement, pour la composante verticale de l'effort appliqué par la bielle à l'essieu moteur, $\frac{\Pi\rho \sin\beta}{\sqrt{b^2-\rho^2\sin^2\beta}}$, valeur maximum pour $\beta = 90°$ (et pour $\beta = 270°$, Π devenant négatif en même temps que $\sin\beta$), et égale alors à $\frac{\Pi\rho}{\sqrt{b^2-\rho^2}}$. Chacune des roues motrices éprouve ainsi périodiquement, quelle que soit leur position relativement aux roues portantes, un surcroît de charge qui s'élève, dans les machines actuelles, à plus de 1.000 kil.

Il est vrai que la pression égale, appliquée de bas en haut à la glissière supérieure, compense en partie cette surcharge, mais faiblement, puisque la force dont il s'agit se répartit entre les trois essieux.

Détermination de la valeur exacte des limites entre lesquelles peut varier la pression sur chaque essieu, dans une position quelconque de la manivelle.

Sans m'arrêter longuement sur des effets déjà analysés ailleurs (1), je ferai remarquer qu'il est très-facile d'assigner, en tenant compte de l'état de tension du mécanisme, dû à l'admission de la vapeur, les limites entre lesquelles varie la pression sur chaque essieu.

δ désignant la distance variable de la tête du piston à l'essieu moteur, α l'inclinaison variable de la bielle sur l'horizontale, P la moitié du poids suspendu, on voit que la demi-chaudière est sollicitée : 1° par une force P appliquée à son

(1) *Des contre-poids appliqués aux roues motrices des locomotives, etc.*, note 1re.

centre de gravité, à la distance d de l'essieu moteur; 2° par une force $-\Pi \operatorname{tang} \alpha$, agissant à la distance δ de cet essieu; la résultante $P - \Pi \operatorname{tang} \alpha$ de ces forces agit à la distance $\frac{Pd - \delta \Pi \operatorname{tang} \alpha}{P - \Pi \operatorname{tang} \alpha}$. Cela revient donc à une demie-chaudière pesant $P - \Pi \operatorname{tang} \alpha$, au lieu de P, et ayant son centre de gravité à la distance $\frac{Pd - \delta \Pi \operatorname{tang} \alpha}{P - \Pi \operatorname{tang} \alpha}$, au lieu de d, de l'essieu moteur.

A cause de $\delta = -\rho \cos \beta + b \cos \alpha$, et $\sin \alpha = \frac{\rho}{b} \sin \beta$, ces expressions deviennent :

$$P - \frac{\Pi \rho \sin \beta}{\sqrt{b^2 - \rho^2 \sin^2 \beta}}, \quad \frac{dP - \left(1 - \frac{\rho \cos \beta}{\sqrt{b^2 - \rho^2 \sin^2 \beta}}\right) \Pi \rho \sin \beta}{P - \frac{\Pi \rho \sin \beta}{\sqrt{b^2 - \rho^2 \sin^2 \beta}}}$$

Telles sont donc les valeurs à substituer à P et à d, dans les expressions (35) : on aura ainsi, pour chaque position de la manivelle, les limites entre lesquelles peut varier la pression sur chaque roue, la roue motrice supportant en outre une charge $\frac{\Pi \rho \sin \beta}{\sqrt{b^2 - \rho^2 \sin^2 \beta}}$.

Dans la marche en arrière, les effets sont inverses : c'est la glissière inférieure qui est pressée, et l'essieu moteur est soulagé d'autant ; mais les phénomènes qui se rapportent à ce sens de la marche sont sans importance. **Marche en arrière.**

Cette influence de la pression de la vapeur sur la répartition étant variable et périodiquement nulle, il n'y a pas lieu de chercher à la compenser par une inégalité dans la distribution du poids de la machine *froide*. Mais il est nécessaire, quand on est conduit à assigner aux pressions individuelles une limite *normale* déjà très-considérable, de tenir compte des causes qui tendent à l'élever encore, et dont l'accumulation pourrait rendre cette fixation complétement illusoire. Il est clair que dans une machine où se rencontreraient à la fois toutes ces circonstances : charge réglementaire *à froid* très-considérable, suspension à ressorts indépendants, contre-poids excessifs, pression très-grande sur les pistons, les rails se trouveraient très-fréquemment soumis à des pressions énormément exagérées; on doit donc s'attacher à éliminer, parmi ces causes de surcharge, celles sur lesquelles on a prise. **Conséquence.**

La disposition représentée par la *fig.* 5, Pl. III, suppose les balanciers suspendus aux boîtes à graisse. Elle a l'avantage de laisser l'espace entièrement libre au-dessus des longerons, mais elle a, par contre, l'inconvénient d'être fort gênante pour l'enlèvement des roues. La simple visite des boîtes devient alors une opération longue et coûteuse. Cette suspension est cependant assez fréquemment appliquée, pour les ressorts eux-mêmes; elle l'est, par exemple, au chemin de fer d'Orléans, pour les ressorts longitudinaux des roues motrices des machines à voyageurs, et au chemin de fer de Lyon pour le ressort transversal de l'essieu moteur des Crampton; mais on vient de renoncer, pour ces dernières machines, à cet ajustement compliqué.

On pourrait d'ailleurs, en élevant un peu le châssis, placer le balancier au-dessus des boîtes à graisse. Les ressorts seraient alors suspendus aux balanciers, pour laisser au jeu des diverses pièces une amplitude suffisante, sans trop élever les longerons.

Si l'on préférait exhausser la chaudière seulement, sans élever le châssis, on pourrait placer les balanciers au-dessus de celui-ci, les ressorts restant au-dessous. Ou même tout le système, y compris les ressorts, pourrait être placé au-dessus des longerons.

Il suffit, du reste, de signaler l'importance du principe, sans entrer dans tous les détails d'application.

Suspension sur ressorts de Baillie.

Quand il s'agit seulement de s'affranchir des difficultés qui naissent du défaut de place pour les ressorts ordinaires à feuilles étagées, on peut faire usage des ressorts en spirale de *Baillie;* ces ressorts, d'origine anglaise, sont fort en faveur dans quelques parties de l'Allemagne, et surtout en Autriche. La *fig.* 4, Pl. IV, représente deux suspensions, l'une simple, l'autre double, appliquées à des machines à marchandises récemment construites dans les ateliers dits : de Vienne à Gloggnitz, appartenant aujourd'hui à la société des chemins autrichiens.

Au reste, on trouverait presque toujours, en recourant aux balanciers, le moyen de loger facilement des ressorts à feuilles ordinaires, assez longs, et alors préférables aux ressorts *Baillie.* On eût, par exemple, pu améliorer ainsi la suspension des machines du Grand-Central (27), dans lesquelles l'indépendance des ressorts a conduit (sans compter les inconvénients qui lui sont propres) à appliquer à l'arrière, entre la boîte à graisse et le longeron, un petit ressort à pincettes.

Ce ressort mérite, entre autres reproches, celui de laisser le longeron complétement en porte à faux à partir de l'essieu. Ce défaut est pallié au moyen d'une armature supérieure destinée à roidir le longeron, c'est-à-dire d'un véritable petit balancier; mais l'application du principe de la solidarité des ressorts eût été, sous tous les rapports, bien préférable à ces petits expédients.

NOTE H (n° 39).

Perfectionnements appliqués aux machines Engerth.

M. Engerth a appliqué à ses machines un perfectionnement devenu tout à fait usuel en Allemagne, la condensation de la vapeur d'échappement dans le tender; et à quelques-unes d'entre elles une modification expérimentée au delà du Rhin sous diverses formes, et ayant pour objet de soustraire les tiroirs à la pression exercée sur eux. Je n'insisterai pas ici sur ces deux points, étrangers à la question discutée dans ce mémoire, et qu'il y aura lieu de traiter à part. Il suffira de dire que la solution de ce dernier problème, fondée sur le principe déjà appliqué en France il y a quelques années par M. Desgranges, laisse beaucoup à désirer. Il en est de même d'une autre disposition qui consiste à suspendre en quelque sorte le tiroir, au moyen d'un tirant articulé, à un piston serré dans une garniture.

1° Tiroirs équilibrés.

On peut critiquer la persistance avec laquelle on a expérimenté, en Allemagne, ces appareils imparfaits qui n'ont pas donné jusqu'ici de résultat bien net; mais elle prouve du moins un louable esprit d'investigation et de recherches. Cette disposition est, en effet, très-prononcée chez le personnel technique des chemins allemands, et à tous les degrés de la hiérarchie; tout le monde se prête avec zèle aux expériences, et accepte des complications qui soulèveraient en France une opposition plus ou moins directe, justifiée, il est vrai, jusqu'à un certain point, par l'activité et les plus grandes exigences du service.

2° Condensation de la vapeur dans le tender.

Quant à la condensation de la vapeur par le procédé de M. Kirchweger, et à l'économie de combustible qu'elle réalise, presque tout le monde est d'accord en Allemagne sur ce fait; mais les évaluations varient entre des limites fort larges. L'expérience suivie depuis près de deux ans sur une machine du chemin de Lyon n'est pas non plus très-concluante à cet égard. Mais l'influence de l'appareil de condensation est très-com-

plexe ; il modifie profondément les conditions de la conduite de la machine, et l'économie dépend en grande partie du degré d'intelligence avec lequel le mécanicien manie ce nouvel instrument, et règle les ouvertures combinées de l'échappement et de la valve d'admission dans le tender.

L'économie de combustible n'est pas la seule base d'appréciation.

L'économie de combustible n'est pas d'ailleurs le seul élément d'appréciation de ce perfectionnement; on obtient, cela est hors de doute, une alimentation parfaitement régulière avec de l'eau *bouillante*, moyennant la simple addition à la pompe, d'un petit réservoir formant régulateur. Devant ce résultat s'évanouit la principale objection contre l'échauffement préalable de l'eau ; et, indépendamment de l'économie immédiate de combustible due à cet échauffement, c'est beaucoup assurément que de pouvoir alimenter sans scrupule, maintenir ainsi plus facilement la pression au moins quand la condensation est suspendue et peut-être même, malgré l'intensité moindre du tirage, pendant qu'elle fonctionne, et atténuer l'influence de l'échappement sur la contre-pression et sur la destruction des tubes. De plus, l'eau portée à la température d'ébullition doit se débarrasser dans le tender de la plus grande partie des éléments incrustants, effet qui sera, dans certains cas où on est réduit à employer de mauvaise eau, digne d'être pris en grande considération. — En un mot, l'appareil intéresse non-seulement la consommation de combustible, mais aussi la facilité de la conduite de la machine et l'économie de son entretien ; il mérite d'être étudié à ce triple point de vue; mais il faut pour cela des observations très-prolongées.

NOTE I (n° 50).

Freins.

On trouve dans la machine Engerth quelques détails qui ne sont pas irréprochables, mais qu'il serait facile de modifier. Le frein est de ce nombre; il agit seulement sur les roues de l'arrière-train, c'est-à-dire sur des roues qui sont et doivent en effet être médiocrement chargées, puisque leur adhérence n'est utilisée qu'accidentellement. Les sabots sont appliqués à une seule paire de roues, et leur action est transmise à la seconde paire par les bielles d'accouplement; la force retardatrice totale est de même transmise au bâtis de la machine par l'intermédiaire de la cheville ouvrière et de ses croisillons. Cette disposition est évidemment aussi peu favorable à un bon

état d'entretien de la machine, que peu efficace quant à la puissance des moyens d'arrêt. On peut, il est vrai, invoquer en faveur de l'application du frein aux roues d'arrière, un argument d'une certaine valeur; les six roues antérieures pouvant être calées par la contre-vapeur, on a ainsi, dans un cas pressant, la faculté d'enrayer toutes les roues. Mais cet avantage ne constitue pas une compensation suffisante des imperfections du seul frein vraiment usuel, car la contre-vapeur est un moyen extrême, et dont l'application fréquente à une machine un peu lancée entraîne des inconvénients bien connus.

Freins à vapeur.

C'était le cas de faire usage d'un frein à vapeur, en conservant d'ailleurs le frein à bras de l'arrière, si l'on jugeait nécessaire d'utiliser au besoin tout le poids de la machine. Les freins agissant directement sur les rails ont été et sont encor en France l'objet de préventions peu fondées. Appliqués aux machines à faible vitesse, ils ne présentent ni inconvénients ni dangers. Leur usage commence à se répandre sur les sections à fortes rampes des chemins allemands; les machines qui font le service de la grande rampe de l'Apennin (note B) en sont également pourvues. Les *fig.* 6 et 7, Pl. IV, représentent une disposition qui paraît très-convenable; je l'ai remarquée sur quelques-unes des nouvelles machines du chemin saxo-bavarois (de Leipzig à Hof).

Frein à double vis.

Quant aux freins mus à bras d'hommes, il n'est pas hors de propos de recommander l'emploi de l'arbre à double vis essayé à diverses reprises, appliqué depuis quelque temps avec succès au chemin de Lyon, et qui devrait se généraliser. Ce perfectionnement fort simple et analogue à l'emploi successif de deux plongeurs de diamètres différents usité depuis longtemps dans les presses hydrauliques permet, comme celui-ci, de proportionner la vitesse à l'intensité très-faible de la résistance initiale. La vis supérieure (Pl. IV, *fig.* 8 et 9) a $0^m,02$ de pas, celle du bas $0^m,009$ seulement. Tant que les sabots ne portent pas sur les bandages, le frottement des filets de la vis est très-faible, de sorte que l'écrou *ee*, dont la collerette *cc* est pressée par le ressort à boudin *b*, reste fixe. Le mouvement propre de l'arbre s'ajoute donc au mouvement relatif de la douille *dd* (*fig.* 8), de sorte que celle-ci marche de la somme des deux pas; les sabots arrivent ainsi rapidement au contact des jantes. Mais dès ce moment, l'effort appliqué à la manivelle augmentant beaucoup, la pression normale sur les filets devient beaucoup plus grande

que la pression sur la collerette, malgré l'effort exerc celle-ci par le ressort à boudin; le frottement des filets porte donc sur celui de la collerette, et entraîne l'écrou le mouvement de rotation de l'arbre; la vis inférieure tionne seule, et on rentre alors dans les conditions des ordinaires.

Ses avantages.

J'insiste sur ce détail, non-seulement à cause des ga de sécurité évidentes qu'offre le serrage rapide du fr tender, mais aussi parce que le perfectionnement dont remplit une condition très-nécessaire, et cependant ra satisfaite. Si la prédominance alternative des moments, vement à l'axe, des deux frottements qui sollicitent l'éc fonctionne pas; si, par exemple, les éléments sont ma binés, le rayon moyen de la collerette trop peu supéri rayon moyen de la vis, ou l'inclinaison de celle-ci sur trop petite; ou bien, ce qui revient au même, si par sui défaut d'entretien, d'un mauvais graissage, l'écrou se pour ainsi dire soudé à l'arbre, et est dès le début e dans son mouvement (1), on retombe tout simplement cas des freins ordinaires à une seule vis. Le perfection est comme non avenu, voilà tout; tandis que la plup dispositifs proposés en vue d'augmenter la sécurité, l promettent au contraire, dès que par une cause ou p autre, ils cessent de fonctionner exactement suivant l visions des inventeurs.

Manœuvre du changement de marche, employée comme moyen de maîtriser la vitesse sur les rampes.

1° Avec le régulateur fermé.

On s'est d'abord médiocrement préoccupé de la quest freins pour les machines du Semring, sous prétexte machines qui font le service de la rampe de 0,022 de gen (Wurtemberg) n'en ont pas; mais le tender a le sie quelquefois fait valoir aussi, sans compter la contre- la faculté de créer une résistance, dans les machines dant une rampe avec le régulateur fermé, en fixant le du levier de changement de marche à un cran interm La compression de l'air confiné dans les cylindres pe partie de la course qui correspond au refoulement d

(1) L'inconvénient inverse (c'est-à-dire la soudure *extérieure*, l'immobilité persistante de l'écrou) serait beaucoup plus grave restreindrait la puissance même du serrage. Mais il n'est nullement à par suite de la grande différence des pressions normales éprouv filet et par la collerette, dès que l'effort exercé sur la manivell un peu considérable.

peur développe, en effet, un travail résistant d'autant plus grand que la course du tiroir est plus réduite. Mais on ne saurait admettre comme moyen usuel d'enrayage, une pratique dont le chauffeur le plus inexpérimenté connaît les inconvénients, — inconvénients plus graves encore que ceux de la contre-vapeur même employée sans mesure; car celle-ci, du moins, ne fait pas *claquer* les tiroirs. On peut, il est vrai, empêcher cet effet en limitant la compression de l'air par une légère ouverture des purgeurs, mais on diminue d'autant la force retardatrice.

2° Avec le régulateur ouvert.

La contre-vapeur, appliquée judicieusement, offre, au contraire, un moyen efficace et irréprochable de modérer la vitesse. On sait que, dans la plupart des machines de construction récente, il y a encore un peu d'admission quand le levier de changement de marche est au *point mort*. En laissant le régulateur ouvert et plaçant le levier au premier *cran* de la marche en arrière, on a une très-faible admission à contre-sens, tout à fait insuffisante pour caler les roues motrices (c'est-à-dire pour changer le sens de leur rotation) et qui crée seulement, comme l'air confiné quand on marche avec le régulateur fermé, une résistance vaincue par le piston. Le tiroir, pressé extérieurement par la vapeur, n'est pas *décollé* de son siége; il fonctionne d'ailleurs lui-même comme frein, par le frottement dû à la pression à laquelle il est soumis.

Frein automoteur de M. Riener.

Mais il importe, sur des rampes aussi fortes et aussi longues que celles du Semring, de répartir, dans toute l'étendue du train, des moyens d'arrêt prompts et énergiques. L'application générale des freins automoteurs serait même d'autant plus désirable, qu'en présence d'une collision imminente, les freins ne sont parfois pas serrés, soit faute de temps, soit faute de vigilance, de présence d'esprit, de prestesse de main. On a expérimenté il y a quelques mois au Semring un frein de ce genre dû à M. Riener, ingénieur à Gratz (1). Il est fondé sur un principe bien connu, mais qu'on n'a pas réussi encore à rendre tout à fait pratique, celui de la pression des sabots sous l'action des tampons à ressort. La disposition de M. Riener, représentée par la *fig.* 10, Pl. IV, ne se distingue guère de celles expérimentées en France (avec fort peu de suite, du reste) que par l'appareil

(1) Ce frein est décrit dans le n° 13 (1854) du *Zeitschrift der Österreichischen Ingenieur-Vereins.*

de déclanchement qui permet de restituer assez facilement au train la faculté de reculer (voir l'explication des figures). Quant à l'autre écueil des freins de ce genre, — leur mise en jeu sous l'influence des simples variations qu'éprouve inévitablement la vitesse, — les essais faits au Semring paraissent établir que l'auteur a su l'éviter, au moins pour les trains peu considérables sur lesquels on a opéré. Le serrage de tous les freins s'opérait par le seul fait d'un ralentissement de la tête du train, dû soit à la fermeture du régulateur, soit à un léger serrage du frein à bras du tender; en un mot, sous l'influence d'un ralentissement volontaire; mais il n'avait jamais lieu spontanément.

Il faudrait, pour compléter ce système, que le déclanchement qui permet le recul pût s'effectuer à la fois et immédiatement dans toute l'étendue du train, au lieu d'exiger par chaque wagon une opération distincte; quoique la masse même des trains exclue la possibilité d'un recul pour ainsi dire instantané, il convient d'éviter de rendre cette manœuvre plus longue et plus compliquée. Du reste, le déclanchement ne prive pas le train de ses moyens d'arrêt. Seulement, au lieu de freins automoteurs on a alors des freins ordinaires à vis, qui fonctionnent, comme l'indique la figure, indépendamment de la position occupée dans la coulisse, par l'arbre qui commande la bielle des sabots (voir l'explication des planches).

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE III.

FIG. 1 à 4. *Machine américaine modifiée par M. Engerth.*

Vaporisation et distribution, fig. 1 et 2.

La chaudière a 189 tubes de $4^m,70$, assemblés, comme cela se pratique ordinairement dans les machines qui marchent au bois, sans viroles, et au moyen d'un raboutissage en cuivre rouge.

Il n'y a pas de diaphragme pour soutenir les tubes; on sait que ce support a l'inconvénient de les couper, effet qu'on pourrait du reste empêcher en interposant entre le tube et la plaque une petite bague en fer.

La seule modification à introduire pour approprier la machine à la combustion de coke, consisterait dans l'abaissement de la grille, et dans l'addition de viroles aux joints des tubes, au moins vers le foyer.

a, col de cigne, et tuyaux d'introduction.

b, tuyaux d'émission et d'échappement.

c, tuyau qui s'embranche de chaque côté sur la base du tuyau d'émission, et sert à diriger la vapeur dans le tender.

d, tige servant à manœuvrer la valve qui distribue la vapeur entre le tender et l'échappement.

f, bielle motrice.

C'est l'essieu extrême, α, qui est moteur. Cette position, très-convenable dans les machines à roues libres, n'est plus motivée, en général, pour les roues couplées, celles du milieu devant porter autant que les autres. Il est même préférable alors de prendre pour essieu moteur celui du milieu, pour rendre indépendants l'un de l'autre les accouplements d'avant et d'arrière; mais on eût été conduit, dans la machine dont il s'agit, à des obliquités excessives des bielles motrices, par suite du rapprochement des essieux et de la grandeur de la course.

66, bielle articulée pour l'accouplement des deux essieux antérieurs.

g, *g*, excentriques de distribution.

Les poulies sont calées sur une fausse manivelle en acier fondu, faisant corps avec le manneton moteur.

La coulisse *e* est *retournée* et fixe (système Bousson), et à avances constantes du tiroir pour toutes les positions du levier de marche.

h, arbre de relevage de la bielle qui transmet le mouvement de la coulisse au tiroir.

s, excentriques spéciaux de l'alimentation, calés sur l'essieu du milieu.

g, corps de pompe.

t, soupapes d'aspiration.

u, *u'*, soupape de refoulement.

v, réservoir muni : 1° d'un clapet de purge; 2° d'un robinet *p*, servant à injecter de l'eau dans la boîte à fumée pour éteindre les fragments en combustion.

γ, γ, châssis principal de la machine, intérieur aux roues.

ρ, ρ, ρ, ressorts indépendants, par l'intermédiaire desquels ce châssis s'appuie sur les trois essieux couplés.

δ, δ, longerons, extérieurs aux roues, du train mobile.

φ, φ, φ, φ, entretoises qui relient entre eux les longerons des deux côtés du train.

ρ', ρ', ressorts qui supportent ce train.

ι, ι, appendices rivés sur les côtés de la boîte à feu et par lesquels la chaudière vient s'appuyer sur l'arrière-train.

λ, glissière en acier frottant sur la glissière λ' fixée au longeron.

Le support ι s'appuie (*fig.* 4) sur la glissière supérieure λ par l'intermédiaire d'un renflement sphérique logé dans une cavité de même forme, de sorte que les deux glissières ne cessent pas de s'appliquer l'une sur l'autre dans toute leur étendue, lors même que le train mobile éprouve, relativement à la chaudière, des déplacements ayant des deux côtés des amplitudes différentes.

μ, μ, plate-forme du mécanicien.

Cette plate-forme est supportée, dans quelques-unes des machines, par l'arrière-train; dans les autres, par le bâtis de la machine. La première disposition est représentée par la *fig.* 1 ; la seconde par la *fig.* 2. Celle-ci rentre, ce qui est d'ailleurs un médiocre avantage, dans les conditions des machines ordinaires, dans lesquelles l'espace affecté au personnel de la machine est prélevé en partie sur celle-ci, en partie sur le tender.

q, chasse-pierre avec le support du balai.

ξ, ressort et crochet d'attelage.

Fig. 4, accouplement des roues de l'arrière train. Sur le dernier essieu fixe α et sur le premier essieu du train mobile α', sont ménagées (*fig.* 2) des portées alésées; elles reçoivent (*fig.* 3), par l'intermédiaire de coussinets, un cadre en fer *m*, *m'*. Ce cadre porte les paliers d'un arbre intermédiaire α'', sur lequel est calée la roue dentée qui transmet à l'essieu α' un mouvement de rotation égal et de même sens que celui de l'essieu α. Par suite du rapprochement des entretoises *ss*, *m'*, ce cadre ne s'oppose nullement aux variations de positions angulaires des essieux α, α', dont l'angle ne dépasse jamais deux degrés dans les courbes les plus roides. Il a suffi de donner (*fig.* 3) un léger jeu aux coussinets du second essieu dans leurs paliers.

d', *d'*, *d'*, dents en acier, fixées par des boulons aux tourteaux en fonte.

Les dents ne sont en prise que lorsque l'arbre intermédiaire α'' est, comme l'indique la *fig.* 3, à fond de course vers la droite; il suffit, pour débrayer, de le ramener à fond de course du côté opposé, en le faisant glisser longitudinalement sur ses paliers.

v, *v*, prolongements des essieux α', α''', de l'arrière-train. Ces appendices sont destinés à recevoir des bielles d'accouplement, qui transmettent au second essieu le mouvement de rotation imprimé au premier par l'appareil à engrenage.

Fig. 5, *suspensions à balanciers.*

N. B. Les balanciers pourraient être remplacés par des ressorts, et réciproquement.

Planche IV.

Fig. 1 à 3. *Conditions du parcours* LIBRE, *en courbe, d'un véhicule supporté par des essieux solidaires avec le châssis, et par un train articulé.*

Fig. 4. *Suspension de machines sur ressorts Baillie.* Cette figure représente deux modes de suspension : l'un à un seul étage de ressorts supérieurs au longeron, l'autre à deux étages inférieurs.

r, *r*, *r*, ressort. — *t*, tirant. — *g*, guide. — *b*, balancier. On règle la charge des res orts au moyen des boulons dont les écrous *e*, *e*, surmontent les ressorts de l'étage supérieur.

Fig. 5. *Fabrication des essieux coudés.*

1. Paquet avec le tracé d'un des coudes.
2. Paquet après la mise des recharges latérales *p*, *p*.

Fig. 6 et 7. *Frein à vapeur des nouvelles machines du chemin de fer Saxon-Bavarois.*

t, cylindre à vapeur, suspendu au-dessous de la chaudière, au moyen des entretoises *t*, *t*, boulonnées sur les prolongements inférieurs, formant plaques de garde, des longerons.

p, piston, dont la tige est articulée avec les leviers *l* auxquels sont suspendus les patins *s*, *s*.

Quand la vapeur n'est pas admise dans le cylindre, le poids du piston et des leviers maintient les patins soulevés; le piston les applique sur les rails, en s'élevant sous l'action de la vapeur. Le frottement du sabot est transmis à la machine par le tirant *g* articulé avec le support *i*, boulonné sur la plaque de garde antérieure.

g', tirant qui transmet la force retardatrice à la machine, quand celle-ci marche en arrière. Cette tringle complète d'ailleurs le système des guides du sabot.

Fig. 8 et 9. *Frein avec arbre à double vis du chemin de fer de Paris à Lyon.*

e, écrou pourvu d'une collerette extérieure *c*, qui s'appuie par l'intermédiaire d'une rondelle métallique sur l'embase du fourreau *m*.

b, ressort à boudin qui presse la collerette sur son support.

Le moment, relativement à l'axe, du frottement de la collerette, étant plus grand que le moment du frottement des filets de la vis, tant que les sabots ne portent pas, et plus petit quand ils portent, l'écrou est d'abord immobile, et ensuite entraîné dans le mouvement de rotation de la vis.

Fig. 10. *Frein automoteur de M. Riener.*

r, *s*, ressort de choc, formé de deux éléments :

1° Un ressort à boudin flexible et à grande course, *r* ;

2° Un ressort *Baillie*, beaucoup plus roide, qui fonctionne quand le premier est comprimé.

e, ergot calé sur la tige du tampon, et qui agit sur la bielle *t* de l'arbre du frein au moyen du levier *f*, *f*, calé sur l'arbre *a*.

l, levier de déclanchement du frein automoteur. Ce levier est fixé sur l'arbre *b*, sur lequel est calée également la petite manivelle *m*, articulée avec l'appendice *n* d'un collier saisissant l'arbre *a*. Quand le levier est dans la position représentée par la figure, l'arbre *a* est fixé à l'extrémité antérieure de la coulisse horizontale dans laquelle il peut glisser, et tourne dès que le tampon s'enfonce. Mais en faisant tourner de 180° le levier *l*, la manivelle *m* entraîne tout le système, le levier *f* s'éloigne de l'ergot *e*, et le tampon, même à fond de course, ne fait plus tourner l'arbre *a*.

Le frein cesse alors d'être automoteur. Mais quelle que soit la position occupée par l'arbre *a* dans sa coulisse, l'arbre à vis agit toujours de la même manière sur les sabots, par l'intermédiaire du levier *g*.

t, assemblage à ressort intercalé sur la bielle pour protéger tout l'appareil, quand les tampons sont poussés violemment à fond de course, et pour empêcher d'ailleurs la pression des sabots de dépasser la limite utile, c'est-à-dire à peu près la charge même de la roue, charge à laquelle correspond le calage en admettant l'égalité des coefficients pour le fer frottant sur fer ou sur bois.

DESCRIPTION

DES GÎTES MÉTALLIFÈRES DE LA LOZÈRE ET DES CÉVENNES OCCIDENTALES.

Par M. LAN, ingénieur des mines.

Introduction. — But et division de ce mémoire.

On connaît depuis longtemps, dans la partie méridionale de la Lozère, un grand nombre de gîtes métallifères, dont les uns sont encore avantageusement exploités aujourd'hui, et les autres passent pour l'avoir été à une époque plus ou moins reculée.

Ces gîtes ont été plusieurs fois partiellement décrits. On trouve dans l'ouvrage publié vers la fin du siècle dernier, par Gensanne : l'*Histoire naturelle de la province du Languedoc*, des indications nombreuses sur la richesse minérale du *Gévaudan* et des *Cévennes*. Mais ce travail, œuvre d'une époque où la géologie était si peu avancée, n'est qu'une espèce de catalogue où Gensanne inscrivit tous les indices minéraux qu'il avait reconnus dans une exploration rapide de ces contrées. La mission que lui avaient confiée les états du Languedoc, aboutit cependant à des résultats importants, c'est-à-dire à la création ou au développement des exploitations de *Villefort* et *Vialas*, de *Bluech*, de *Saint-Sauveur-des-Pourcils*, etc.

Plus tard, les seules mines de ces contrées qui se soient maintenues en activité pendant et après la révolution de 89, c'est-à-dire celles de Villefort et Vialas, furent l'objet de plusieurs mémoires; on en trouve un premier de *Dolomieu*, dans le tome VIII du *Journal des*

mines. En 1823, M. *Marrot* publia dans les *Annales des mines* (1re série, tome VIII), un résumé des richesses minérales du département de la Lozère, et l'année suivante, MM. *Marrot* et *Levallois* décrivaient, dans le même recueil, les mines, ateliers de préparation et usines de Vialas et Villefort.

Or, depuis cette époque, les travaux se sont considérablement développés dans ces mines; de nouveaux gîtes ont été découverts aux environs; de nouvelles concessions ont été demandées ou accordées; dans ces dernières années surtout, l'esprit de spéculation semble s'être reporté avec une certaine ardeur vers les gîtes métallifères de la Lozère et des Cévennes.

C'est dans ces circonstances que ce travail fut entrepris, à la demande que le conseil général de la Lozère en avait faite à l'administration.

L'exploration des gîtes métallifères nous a naturellement amené à l'étude géologique de la contrée, et nous avons dû, en outre, visiter en détail les mines et usines aujourd'hui en activité. Les résultats de nos études se groupent donc assez distinctement sous les titres suivants :

1° *Description des divers groupes de gîtes métalliques et essai sur la géologie de la contrée métallifère.*

2° *Historique complet des diverses exploitations; description des mines et usines aujourd'hui en activité. Examen des ressources et de l'avenir probable des divers groupes de gîtes*, etc.

Le premier titre est celui du Mémoire qui suit; la publication du second suivra celle-ci d'assez près, nous l'espérons.

On trouvera dans ce Mémoire : un premier chapitre où nous avons décrit succinctement les formations géologiques traversées par les filons métalliques, et indi-

qué les principaux accidents géologiques que la contrée a éprouvés.

Un second chapitre est consacré à la monographie des divers gisements connus; nous avons cherché, tout en étudiant surtout l'allure des filons métalliques, à réunir là les indications les plus précises sur leur situation, afin d'éviter aux explorateurs les difficultés que nous avons nous-même éprouvées plus d'une fois à la recherche des affleurements. Cette exigence d'un pareil travail a un peu allongé cette partie du Mémoire; par suite, les caractères généraux des gîtes ne ressortent peut être pas assez nettement dans cette description; aussi, dans un troisième chapitre, nous présentons un résumé d'ensemble sur tous ces gîtes. Par l'étude comparée que nous en avons faite, nous avons pu les grouper par zones très-nettes, de caractères bien tranchés et d'une continuité frappante.

Ce groupement des gîtes n'a pas qu'une importance géologique; il en a une autre, quand, connaissant, par exemple, les résultats donnés par un district, on veut apprécier les ressources probables d'un autre district du même groupe.

CHAPITRE PREMIER.

GÉNÉRALITÉS SUR LA STRUCTURE ET LA COMPOSITION DU SOL. POSITION DES GÎTES MÉTALLIFÈRES.

Les gîtes métallifères sont distribués autour des massifs granitiques de la Lozère, de l'Aigoual et des appendices qui les relient (1),

Le premier à la Margeride et aux montagnes de l'Ardèche;

(1) Pour l'intelligence de nos descriptions, nous avons joint une carte de la contrée au 1/4 de Cassini. (*Voir* Pl. V.)

Le second aux monts Lirou, Brion, etc., avec lesquels il forme une bande granitique, à peu près parallèle à la limite des départements du Gard et de la Lozère, des environs de Meyrueis à Saint-Jean-du-Gard.

Ces deux bandes granitiques, qui s'étendent au nord et au sud de la contrée métallifère, sont alignées en général de la même manière, c'est-à-dire de l'est à l'ouest. Elles renferment d'ailleurs les points de plus grande altitude de toute la contrée ; et, au point de vue orographique, c'est aux chaînons dont elles se composent que paraissent subordonnées, comme direction, toutes les crêtes surgissant dans l'espace qui les sépare. Or, si l'on observe l'aspect général de ces montagnes d'un point assez élevé, comme du sommet de l'Aigoual ou de l'un des pics de la Lozère, on est frappé de la régularité avec laquelle ces montagnes se groupent par rapport à deux orientations principales. Ainsi, il y a parallélisme constant, d'une part, entre la chaîne E. 5 à 10° S., O. 5 à 10° N. de la Lozère, et les crêtes schisteuses qui la séparent des Cévennes ; d'autre part, entre les chaînons E. 25 à 35° S., O. 25 à 35° N. de l'Aigoual et les montagnes qui, les recouvrant au nord et au nord-est, vont se relier à celles de la Lozère. Ces deux orientations principales sont d'ailleurs nettement accusées par les cours d'eau tracés sur notre carte ; les vallées présentent naturellement les mêmes directions générales que les montagnes qui les encaissent : or, marchant du nord au sud, de la Lozère vers les Cévennes et le Gard, on trouve :

Une première ligne de vallées, celles du Tarn et du Luech, qui, dans cette partie de leur cours, suivent la première orientation.

Une deuxième ligne comprend les rivières de la Me-

mente et du Gardon-du-Collet; elle est sensiblement parallèle à la précédente.

A partir de là, à la hauteur de Saint-Germain-de-Calberte, nous entrons dans une série de vallées, où prennent naissance les diverses branches du Gardon; toutes, dans cette région, coulant parallèlement à la seconde orientation. C'est encore celle suivie par les diverses branches de la Jonte (Bétuzon, Brézé, etc.), qui, descendant de l'Aigoual vers l'ouest, vont réunir leurs eaux dans la ville même de Meyrueis. Enfin, sur la pente nord de la chaîne de Lozère, cette seconde direction est encore à peu près exactement reproduite par les pentes du Lot et de l'Altier d'une part, et du Chassézac de l'autre.

Les deux directions dont nous venons de parler sont coupées par une troisième, sur laquelle sont situés les cols de séparation des bassins de l'Océan et de la Méditerranée. La direction moyenne de cette ligne serait N. 10 à 20° E., S. 10 à 20° O.

C'est sur cette ligne de faîtes que se trouvent les sources du Lot et de l'Altier, du Tarn et du Luech, de la Mementе et du Gardon-du-Collet, du Tarnon, de la Jonte et ses affluents, et des diverses branches du Gardon.

Sans nous arrêter ici sur les facilités qu'offrent plusieurs points de cette ligne pour le passage d'un bassin à l'autre, nous remarquerons qu'en effet les altitudes y sont beaucoup moins considérables que sur les deux premières directions. Nous aurons plus tard l'occasion de faire comprendre toute l'importance de ces circonstances géographiques.

Pour le moment, bornons-nous à signaler les trois directions principales auxquelles se rapportent les traits les plus caractéristiques de la contrée métallifère. Il

nous sera facile, après cela, d'en tracer d'une manière générale l'esquisse géologique.

Au nord et au sud, sont les deux massifs granitiques, qu'on peut limiter approximativement par des lignes parallèles à la première direction.

Entre ces deux massifs s'étend le terrain schisteux ancien, le même qui reparaît encore sur le versant nord de la Lozère et sur les pentes sud et sud-est de l'Aigoual.

A l'ouest, granite et schistes sont recouverts par les terrains secondaires, dont la limite suit une direction moyenne N.-E.

A l'est, les terrains cristallisés disparaissent encore sous les terrains secondaires et sous le terrain houiller, dans les départements du Gard et de l'Ardèche.

Cette étendue présente donc assez fidèlement la forme d'un parallélogramme, dont les deux bases (E.-O.) sont granitiques, les deux côtés (N.-E.-S.-O.) sont les limites des terrains cristallins avec les terrains secondaires, et dont la surface intérieure, enfin, est occupée par les schistes anciens.

Dans cette esquisse générale, nous ne tenons pas compte des lambeaux de terrains secondaires qui se trouvent isolément superposés, souvent à des hauteurs considérables, soit directement sur le granite, soit sur les schistes, dans l'intérieur même du parallélogramme.

Reprenons maintenant, avec quelques détails, chacune des formations géologiques que nous venons d'indiquer.

Terrain granitique.

Presque partout où il affleure dans le Gard et dans la Lozère, le granite présente les mêmes caractères. Pourtant, dans la partie ouest de la chaîne lozérienne, on peut distinguer deux variétés de cette roche. La

première, celle qui constitue le plus souvent les grands massifs dont nous avons parlé, est la variété porphyroïde ; la seconde, qui occupe les contours de la partie ouest des monts Lozère, est à grains plus fins et n'offre jamais l'aspect porphyroïde. Tandis que le granite porphyroïde occupe la partie centrale de la chaîne, le granite à grains plus fins se montre dans les parties du massif relativement basses, et plus particulièrement sur les contre-forts qui relient la Lozère et la Margeride. On le voit sur les pentes sud et nord de la première chaîne, à *Bédouès*, *Cocurès*, *Ruas*, *Runes*, aux *Bondons*, à *Saint-Étienne-du-Valdonnez*, à *Allenc*, la *Rouvière*, etc., etc. On retrouve enfin dans ces régions les faits signalés par M. Dufrénoy, dans la description des granites du Limousin (texte de la carte géologique de France). Le granite porphyroïde, moins ancien que l'autre, s'est donc fait jour à travers celui-ci, comme le remarque l'éminent géologue ; seulement, la forme de ses chaînes a été postérieurement modifiée par plusieurs accidents géologiques dont nous trouverons les preuves dans l'étude des filons métallifères.

Nous avons dit que le granite porphyroïde était le plus répandu dans la contrée métallifère ; dans toute sa partie centrale et vers l'est, le massif de la Lozère ne présente guère que cette variété ; les massifs qui s'étendent de Meyrueis à Saint-Jean-du-Gard sont dans le même cas. Alors le granite surgit à travers la formation schisteuse, dont la nature et l'allure semblent avoir été puissamment influencées par l'apparition de cette roche.

Les deux variétés de granite dont nous venons de nous occuper renferment les mêmes éléments ; dans le granite porphyroïde, au milieu de la pâte formée de feldspath blanc ou rose lamelleux, avec quartz gris

amorphe et mica tantôt noir, tantôt argentin, on voit de grands cristaux de feldspath nacré blanc ou rosé. Dans la seconde espèce on retrouve tous ces éléments en grains moyens, sans apparence de cristallisation.

Outre ces modifications du granite, nous en remarquerons encore quelques autres, qui se trouvent en petites masses ou filons injectés dans les schistes, à proximité des massifs de granite porphyroïde : ces masses consistent, le plus souvent, en un granite à grains très-fins, passant soit à l'Eurite, soit à la Pegmatite, etc. De pareils passages s'observent fréquemment dans les environs de Vialas et Villefort.

Le granite de la Lozère et des Cévennes est généralement pauvre en minéraux. Nous n'avons à signaler que les minéraux métalliques qui s'y trouvent en filons, dont l'étude est l'objet spécial de notre mémoire. Le granite porphyroïde passe quelquefois au kaolin, mais encore n'y en a-t-il pas de gisement important et susceptible d'exploitation.

Nous reviendrons, plus tard, sur les directions qu'affectent les massifs granitiques, et nous essayerons de relier leur apparition avec certains autres faits dont il nous reste à parler.

Terrain schisteux

La plus grande partie de la contrée métallifère appartient à cette formation. Comme nature de roches, on y rencontre toutes les variétés de schistes, depuis le gneiss, les talcschistes, les micaschistes les mieux caractérisés, jusqu'au schiste argileux compacte à peine micacé.

Au contact des granites, et surtout des granites à grains moyens, les schistes passent au gneiss ; mais cette roche n'occupe jamais que des bandes fort minces à la limite des massifs granitiques, et à une petite distance de ceux-ci, le schiste prend son aspect ordinaire :

il est alors luisant, d'un gris blanc, bleuâtre ou verdâtre, paraissant surtout composé de feuillets talqueux avec grains siliceux très-fins. Dans certaines régions, et notamment dans les environs de *Villefort*, au nord de la *Lozère*, et de *Saint-Germain-de-Calberte*, de *Barre*, le long du *Gardon-de-Sainte-Croix* et de *Moissac*, on observe des micaschistes proprement dits, c'est-à-dire des roches composées exclusivement de quartz et de mica.

En général, gneiss, talcschistes ou micaschistes, sont très-siliceux et par conséquent très-durs, très-solides et se réduisant en fragments anguleux, mais difficilement en poussière.

Dans la seule région des Cévennes, et surtout le long d'une ligne qui, partant de *Saint-Étienne-Vallée-Française*, serait dirigée sur *Chamborigaud* et *Génohlac* par le *Collet-de-Dèze* et le *Pendedis*, les schistes sont infiniment moins solides que partout ailleurs; ce n'est pas, au reste, la seule différence qu'ils présentent. Ainsi, ils se réduisent en très-menus fragments de couleur variant du gris bleuâtre au jaune sale, du jaune d'ocre au rouge hématite. Il en résulte, qu'au lieu des montagnes décharnées et d'un gris monotone qui s'étendent vers l'ouest, la région dont nous parlons offre au voyageur qui traverse de l'ouest à l'est la ligne de faîtes des deux mers, des collines arrondies et d'une teinte plus chaude et plus variée; sur leurs flancs, les eaux pluviales ont marqué leur passage par de profondes crevasses, dont les débris sont accumulés au fond des vallées élargies des divers Gardons. Si à ces circonstances de l'altération plus facile des roches, de l'élargissement des vallées, nous ajoutons que les altitudes sont ici bien plus faibles que vers l'ouest, on comprendra d'où vient l'agglomération des villages ou ha-

meaux, et de la population, dans cette partie du département de la Lozère.

Nous verrons plus tard, que c'est aussi dans cette région, que se trouvent exclusivement concentrés les filons d'antimoine sulfuré.

Au lieu de ces schistes d'un délit si facile, nous avons souvent observé, au contraire, des variétés considérablement durcies par une silicification abondante qui leur a communiqué une teinte blanchâtre ; ces schistes se divisent en fragments à cassure pseudomorphique. Ce fait s'observe surtout aux environs de Meyrueis, au contact des filons métallifères, dont on trouve là des bandes énormes.

Enfin, une dernière modification est celle qu'on observe constamment à la séparation des schistes et des terrains secondaires. Toujours durs, luisants, très-fissiles, rouges lie-de-vin, ils sont quelquefois assez chargés d'oxyde de fer pour être exploités comme minerais, si les autres circonstances locales le permettaient.

Quelques mots maintenant sur l'allure des couches schisteuses.

Comme disposition générale, un premier fait à observer, c'est le redressement constant de ces couches vers les massifs granitiques du nord et du sud. Elles s'appuient sur ces masses éruptives, et à quelques exceptions près, la plongée est au sud, dans le voisinage de la Lozère, et au nord, à proximité de l'Aigoual. Ces faits indiquent bien une influence de l'apparition des granites sur l'allure des schistes ; mais si, après la plongée, on tient compte de la direction, on reconnaît que ces soulèvements granitiques ne sont pas les seuls ni peut-être les premiers accidents qui aient bouleversé cette formation. En effet, comme on l'a d'ailleurs observé

sur beaucoup d'autres points du plateau central, la direction générale des schistes court du S.-O. au N.-E.; au moins est-ce la direction dominante dans l'intérieur de notre parallélogramme. Quand on se rapproche des massifs granitiques, l'orientation des schistes oscille entre le N.-O.-S.-E. et le N.-E.-S.-O.; quelquefois même la direction est-ouest atteste encore la part d'influence qu'il faut accorder aux granites sur la disposition des schistes.

Encore ici, nous réserverons la discussion sur les divers accidents qui ont influencé la configuration de cette partie de la contrée métallifère, pour le moment où notre étude aura été complétée par celle des filons métalliques ou autres qui la sillonnent.

Remarquons, pour terminer cette description, que tous les caractères signalés plus haut rapprochent cette formation de celle des schistes anciens qu'on retrouve sur tout le plateau central, dans l'Aveyron, dans le Limousin, etc., etc., et qui est antérieure aux terrains de transition proprement dits.

Cette formation est ici très-riche en minéraux métalliques, disséminés dans un grand nombre de filons. On y trouve, de plus, quelques espèces minérales, comme l'*amphybole*, la *mâcle*, les *grenats*, la *plombagine*, les *pyrites de fer*.

L'amphibole est rare; on en trouve quelques traces dans les schistes gneissiques, au contact des granites. La mâcle et les grenats mal cristallisés sont aussi disséminés dans les schistes; mais c'est presque toujours aux abords des masses granitiques, et plus souvent encore, dans le voisinage de certaines roches feldspathiques dont nous allons parler. Dans les mêmes circonstances, les schistes sont très-ferrugineux et parsemés de pyrites de fer en filets ou en cristaux. Enfin, il

n'est pas rare d'y trouver des imprégnations de graphite (environs de Saint-Germain-de-Calberte, d'Altier, cols de Pendedis et de Pradel, etc.). Nulle part, cependant, le graphite n'est assez abondant pour être exploité.

Les schistes eux-mêmes deviennent, en beaucoup de points (près de Bagnols, Tournel, etc.), assez fissiles et durs pour fournir non-seulement les *lauzes* du pays, mais encore des ardoises très-fines qu'on pourrait exporter hors du département, si les communications étaient plus faciles.

Roches éruptives qui traversent les formations granitiques et schisteuses.

Les schistes et le granite sont fréquemment traversés par des filons d'une roche particulière, que plusieurs géologues, notamment M. Émilien Dumas, ont appelée *Fraidronite.*

A côté de cette roche et de ses variétés, nous avons observé quelquefois de véritables porphyres quartzifères.

Citons encore, parmi les roches éruptives, des filons de *pegmatite* qui coupent les schistes, ordinairement à proximité des massifs granitiques; enfin d'énormes filons de quartz sauvage traversant à la fois granite et schistes.

Filons de Fraidronite. Variétés.

La Fraidronite présente plusieurs variétés et c'est par l'étude comparative de ces diverses roches qu'il devient possible de bien apprécier leur composition. Le plus souvent la Fraidronite semble formée d'une pâte feldspathique d'un vert plus ou moins foncé, avec grande abondance de mica bronzé donnant à la roche une teinte plus sombre, qui la fait désigner dans le pays sous le nom de *Pierre noire.* Aux affleurements, cette roche s'altère à la longue sous les influences atmosphériques et se réduit en boules, dont la surface est ocreuse et l'intérieur parfaitement conservé. La dé-

nposition est même parfois plus avancée et pro-
it ainsi une espèce d'arène feldspathique micacée.
tte variété, de beaucoup la plus fréquente, est ordi-
irement très-dure.

Dans quelques points (environs de Cassagnas et de
uech), la roche paraît toujours composée de feldspath
mica; mais elle prend un aspect granitoïde. Le mica
t très-abondant et, au milieu de ses lames, sont en-
evêtrés quelques cristaux de feldspath rosé; l'ab-
nce de pâte feldspathique fait qu'alors la roche n'a
esque aucune consistance. Souvent encore, le feld-
ath cristallisé devenant plus rare, la roche se rappro-
e ainsi de *la Minette*.

Si la pâte fedlspathique manque dans le cas précé-
nt elle devient, au contraire, l'élément dominant
ns beaucoup de filons. Au milieu de cette pâte tou-
urs grise ou d'un vert clair, on ne voit plus que de
res paillettes de mica; mais un grand nombre de ta-
ies d'un vert plus sombre donnent alors à cette variété,
plus grande ressemblance, comme aspect extérieur,
vec la roche que les Anglais appellent *Toadstone* ou
ierre de crapaud.

Plus rarement, nous avons vu dans certains filons une
che composée d'une pâte feldspathique vert sale, sans
ucune apparence de mica.

On distingue dans plusieurs de ces roches des grains
olés de pyrites de fer; le quartz ne s'y observe que
arement.

Telles sont les diverses variétés de Fraidronite; quel-
ues recherches chimiques termineront ce que nous
vons à en dire comme nature de roche.

La poussière est toujours blanche ou légèrement ver-
âtre.

Toutes ces variétés font effervescence aux acides

acétique, azotique et chlorhydrique : elle est due à de petites veinules de carbonate de chaux éparpillées dans la masse ; l'acide chlorhydrique donne l'effervescence la plus vive : cela s'explique par la présence de quelques filets de carbonate de fer, qui s'attaque difficilement par les deux autres acides.

Par calcination, la Fraidronite perd 9 à 10 p. 100 de son poids et la poussière devient d'un rouge clair. La perte n'est pas due seulement à l'acide carbonique, car il se dégage aussi une faible proportion d'eau. Quand la calcination se fait sur des fragments un peu gros, ils éclatent au feu ; la teinte noire persiste ; seulement le rouge apparaît par veines, ce qui prouve que le carbonate de fer n'est pas disséminé dans la roche, mais concentré dans de petites fissures.

Par l'attaque à l'acide chlorhydrique, nous observions toujours un dépôt abondant de silice gélatineuse. Après calcination même, l'effervescence n'ayant plus lieu, l'acide donnait immédiatement dépôt de silice, en même temps qu'une décoloration complète de la matière, si l'on avait soin de porter à l'ébullition. Le résidu contenait le mica et le feldspath de la roche ; les lames du premier avaient conservé tout leur éclat ; la poudre du second était d'un blanc à peine rosé.

La liqueur chlorhydrique contenait du protoxyde de fer, de l'alumine, de la magnésie et de la chaux.

Les résultats de plusieurs analyses, faites sur la variété la plus fréquente de Fraidronite, permettent d'admettre la composition centésimale suivante :

	Feldspath et mica	50,00
En combinaison :	Silice	15,00
	Alumine	5,00
	Magnésie	3,40
	Protoxyde de fer	4,00
	Eau	1,50
	Carbonate de fer	17,50
	Carbonate de chaux	3,60
	Total	100,00

En écartant les carbonates de fer et de chaux, éléments accidentels dans la roche, celle-ci resterait donc composée de *feldspath et mica*, *fondus et cimentés l'un avec l'autre par un hydrosilicate d'alumine, magnésie et protoxyde de fer.*

Ce silicate aurait, lui, pour composition centésimale, en nombres ronds :

Silice	52,00
Alumine	17,00
Magnésie	12,00
Protoxyde de fer	13,00
Eau	6,00
	100,00

et se rapprocherait ainsi de certaines variétés *de chlorite.*

Ce minéral se retrouverait dans toutes les variétés de Fraidronite, que nous avons signalées plus haut. C'est à lui qu'il faudrait attribuer la coloration du feldspath, coloration qui persiste, même quand la roche passe au feldspath compacte. Ce serait encore cette espèce de chlorite qui, dans les échantillons semblables au *toadstone*, deviendrait plus abondante et s'isolerait en grains, d'un vert plus sombre que le reste de la masse.

Après ces recherches sur la nature de la Fraidronite, nous avons naturellement été conduit à la comparer à des roches, qui nous semblent s'en rapprocher beaucoup,

nous voulons dire les roches de *Kersanton* et *Kersantites*, étudiées et décrites par M. Delesse (*Annales des mines*, tome XIX, 1851, page 164). Les caractères physiques et chimiques, les minéraux associés, tout nous porte à ce rapprochement, qui sera peut-être plus complet si nous examinons maintenant l'allure des filons de Fraidronite.

La Fraidronite et ses variétés apparaissent ordinairement en filons de puissance très-variable, dont la direction oscille entre le N.-S. magnétique et le N. 20 à 25° E. vrai. Il est rare qu'un filon soit isolé; au contraire on en trouve toujours un certain nombre, parallèles, occupant des largeurs de 25 à 30 mètres, souvent plus. Or les diverses masses, que nous avons observées dans les Cévennes, sont soumises à une grande régularité dans leur disposition générale.

En jetant les yeux sur notre carte, on y verra, en effet, la Fraidronite affleurer en bandes bien nettes, à peu près parallèles entre elles et qui se poursuivent visiblement sur de grandes étendues.

Une ligne passant par *Valleraugue*, *Rousses*, *Bassurels*, *Barre*, *Saint-Julien d'Arpaon*, *Rampon*, *Treguiès*, serait l'axe d'une première bande de ces roches, avec une direction moyenne N. 10 à 15° E. (vrai).

Une seconde zone beaucoup plus large et où la Fraidronite présente toutes les variétés que nous avons décrites, part des environs de *Saumane* et *Saint-Roman*; reparaît au-dessus de *Gabriac*, *Sainte-Croix*; très-large à *Saint-Martin de Lensuscle*, à *Malausette*, *Calbanis*, *Pradal*, *Solpéran*, au *Rouve*, à *Vieiljeuve* et *Vieljouve*, elle coupe les filons de Bluech et Pradal; se continue à travers le granite de la Lozère, avec des modifications indiquées plus bas, et, plus loin encore dans les schistes, entre Villes-Hautes et Altier (route de Mende à Ville-

fort). L'orientation moyenne est celle donnée plus haut.

Dans la région Est du département de la Lozère, nous retrouvons encore quelques filons isolés à Vialas et aux environs de Villefort; peut-être se rattachent-ils aussi à quelque bande analogue aux premières. Leur allure en tous cas est la même.

Tous ces filons traversent le granite et les schistes, ils coupent en général assez nettement ceux-ci; quelquefois cependant, la Fraidronite est couchée entre les feuillets des schistes. Un fait important, au point de vue de l'âge de cette roche, c'est qu'on ne la voit pas dans les terrains stratifiés qui bordent les formations anciennes.

Quand elle pénètre dans le granite, elle ne paraît pas toujours conserver les caractères, que nous lui avons reconnus jusqu'ici. Auprès de Rampon, de Treguiès, on n'observe pas grande différence, mais près de l'Aigoual, par exemple, la Fraidronite passe à un feldspath compacte noir avec grains de quartz très-fréquents.

Enfin quand nous avons cherché le prolongement de la seconde zone citée tout à l'heure, vers les environs de Pont-de-Montvert, nous n'avons trouvé que des filons de feldspath gris ou blanc dirigés du N. au S. ou de N. quelques degrés E. au S.-S.-O. : ils courent dans le granite, depuis les environs N.-N.-E. de Pont-de-Montvert, jusqu'auprès de Chapelle et Chamlong-de-Lozère, où ils pénètrent dans les schistes. Les affleurements de ces filons feldspathiques sont ocreux ou d'un rouge brique provenant de l'altération des pyrites, qui s'y trouvent en grande abondance. A leur proximité, les schistes sont altérés, ocreux, chargés de grains

pyriteux et de cristaux incomplets de mâcle et grenats. Ces caractères se retrouvent auprès des bandes de Fraidronite bien définie.

C'est encore près d'une pointe granitique, qu'au ravin de l'Hort-Dieu, entre l'Hospitalet et Barre, et à Saint-Julien-d'Arpaon, nous avons trouvé, en contact, des filons de Fraidronite et des filons de divers porphyres quartzifères. En plusieurs points même, il y a peut-être passage de l'une à l'autre roche. Mais ce sujet demanderait à être étudié d'un peu plus près.

Il nous reste un autre fait à signaler, au sujet de la disposition générale des masses de Fraidronite.

On remarquera que cette roche apparaît presque toujours, près des cols de séparation des deux mers : de plus, la direction de la ligne des faîtes se confond sensiblement avec l'orientation moyenne des masses qui nous occupent. C'est un fait dont la conclusion trouvera sa place plus tard.

Nous compléterons ici le rapprochement que nous annoncions de ces roches avec les Kersanton et Kersantites, décrits par M. Delesse D'après ce géologue. la direction et l'allure des filons de Kersantite, qu'il a observés dans les Vosges, se rapprocheraient de celles de nos zones de Fraidronite. La direction N.-S. magnétique ou vrai est celle qu'on trouve dans les Vosges; c'est elle encore, qui paraît la plus fréquente en Bretagne, pour les filons de Kersanton.

Une dernière observation sur ces rapprochements.

Dans une contrée métallifère, qui, à plus d'un titre, présente des analogies avec celle des Cévennes et de la Lozère, c'est-à-dire, dans le massif primordial du Rouergue, entre Villefranche et Milhau, on rencontre des roches feldspathiques passant à des roches noires

très-problématiques, dont l'orientation se rapproche assez de celle que nous venons d'indiquer.

En outre, la direction N.-N.-E.-S.-S.-O. y est fréquemment accusée par certaines chaînes, particulièrement par celle de Levezou, qui sert de bordure occidentale au massif de terrains secondaires appuyé, à l'est, sur le terrain cristallin de la Lozère et des Cévennes.

C'est surtout sur les pentes de la Lozère, qu'on observe les filons de pegmatite. Les environs de *Vialas*, de *Villefort*, de *Bagnols-les-Bains*, de *Bédouès*, *Cocurès*, sont autant de points où ils affleurent. Filons de pegmatite.

Près des massifs du sud, nous n'en avons observé que dans les environs de Meyrueis.

La roche, qui remplit ces filons, est le plus souvent un feldspath lamelleux, blanc ou légèrement rosé avec quartz et, très-rarement, quelques paillettes de mica blanc ou noir. Le quartz y devient quelquefois assez abondant, pour y former des bandes au mur et au toit, et il est alors en cristaux bipyramidaux.

Il est difficile d'assigner une allure générale à ces filons, qui paraissent toujours subordonnés aux massifs granitiques. Cependant quelques bandes de cette roche, celles qu'on voit au milieu des schistes entre Oultet et Bagnols, sont orientées au N.-O. comme certains filons métalliques voisins; de plus nous avons, sur le même point, observé de la baryte sulfatée au milieu de la pegmatite.

Près de la séparation des granites porphyroïdes et des schistes, on voit souvent d'énormes filons de quartz sauvage, dont la direction se rapproche beaucoup de celle des crêtes granitiques mêmes. D'un autre côté, quoique ces filons ne soient pas métallifères en général, Filons de quartz.

ils paraissent cependant en relation avec quelques-uns de ceux que nous décrirons bientôt.

Terrains secondaires.

Il n'entre pas dans le cadre de ce travail, de faire une étude détaillée des terrains secondaires de la Lozère. Cependant le prolongement des gîtes métallifères dans ces terrains, nous oblige à faire une esquisse rapide de leur ensemble.

Nous n'avons d'ailleurs à parler que de la limite ouest des terrains cristallisés (1).

Cette limite passe approximativement par *Meyrueis*, *Barre*, *Florac*, *Saint-Étienne-du-Valdonnez* et *Mende*. A l'est de cette ligne, sont les terrains cristallisés et, à l'ouest, commencent les *Causses*, qui se continuent, dans cette direction, jusque dans l'Aveyron, où ils constituent l'immense plateau du Larzac. Les profondes découpures de ce plateau se retrouvent dans toute l'étendue de ces formations secondaires, et les gorges étroites où se précipitent le Tarn, le Tarnon et la Jonte, rappellent, par leurs coupes sèches et hardies, les bords abruptes et décharnés du Tarn, aux environs de Milhau. Grâce à ces accidents naturels, la superposition des divers étages secondaires est mise à nu, le long de tous les cours d'eau qui descendent de la Lozère, pour gagner, vers l'ouest-sud-ouest, les eaux de l'Océan.

En suivant la ligne limite tracée plus haut, on retrouve presque partout tous les termes de la série du lias et de l'oolite, et le trias dans la partie sud.

---

(1) Nous ne dirons rien du terrain houiller, ni des terrains secondaires qui, à l'est, limitent les terrains cristallisés; nous avons tracé sur notre carte les limites de ces formations d'après celle de M. Émilien Dumas, et cela, dans le but surtout d'indiquer les distances auxquelles les gîtes métallifères se trouvent des combustibles.

Quelques mots seulement sur les caractères généraux de ces diverses formations.

La formation du trias est peu développée dans la Lozère ; sa puissance augmente en descendant vers le Gard ; mais encore là on n'observe que certains termes. Formation du trias.

Le seul point où nous l'avons pu observer, c'est dans la région comprise entre *Fraissinet-de-Fourques*, *Barre*, *Rousses* et *Le Pompidou*. Si, à partir de là, elle se développe vers le sud, elle disparaît vers le nord, déjà à la hauteur de Florac.

Voici l'ensemble qui représente le trias dans cette région.

A la base, directement appuyée sur les schistes, sont des couches d'un poudingue ou conglomérat assez grossier : les éléments sont du sable fin, de gros fragments de quartz blanc, des débris de schistes ; très-souvent du feldspath et du mica, enfin, les débris des schistes et du granite sur lesquels repose cette formation.

A ce poudingue succèdent des couches de grès grossier, se délitant très-aisément à l'air, souvent imprégnés d'oxyde de fer. Ces couches se retrouvent plus constamment que le poudingue de la base : elles forment ainsi un horizon géologique très-facile à suivre et qui permet de tracer, à distance, la limite des terrains secondaires avec les terrains cristallisés.

Au-dessus de ces grès, viennent des calcaires siliceux également pénétrés d'oxyde de fer, puis une couche argileuse, noire, bleue, violacée ou grise, où sont couchées de petites plaques d'un lignite très-dur, très-cassant, brillant comme du jayet.

Enfin, des calcaires siliceux, alternant avec des marnes micacées, feuilletées, à cassure anguleuse,

forment la base, sur laquelle sont appuyées les couches du lias.

Formation du lias.

Cet étage des formations secondaires est le mieux représenté dans la contrée métallifère. Il occupe toute la bordure ouest des terrains cristallins, et s'étend même à la hauteur de Mende, entre les montagnes de la Lozère et de la Margeride, le long du Lot et de l'Altier.

Dans ces régions, on peut distinguer les trois sous-groupes suivants :

1° Grès et calcaires dolomitiques de la base :

2° Calcaire à gryphées arquées ;

3° Marnes supraliassiques.

1° *Grès.*

A la base du lias, on trouve assez souvent deux ou trois couches de grès qui disparaissent aussi, en un très-grand nombre de points, et les dolomies reposent alors directement sur les terrains cristallins. Ces grès, à grains moyens, feldspathiques et micacés, forment une épaisseur de 3 à 4 mètres environ. Le plus souvent blancs, comme dans les environs de *Saint-Étienne-du-Valdonnez*, ils sont d'autres fois bariolés de rouge et de vert, comme au nord de *Mende*. Ils deviennent, aux environs de *Bagnols-les-Bains*, assez durs et compactes, pour fournir des meules de bonne qualité.

Dans leur partie supérieure, ils sont associés à des calcaires marneux et siliceux, mais sur une très-faible épaisseur.

Cet ensemble, qu'on observe à *Allenc*, *Chastel-Nouvel*, entre les *Bondons* et *Saint-Étienne-du-Valdonnez*, en général donc, partout où le lias repose directement sur le granite, apparaît au contraire très-rarement, quand la roche sous-jacente est du schiste ; ou bien, si ce cas se présente, comme au nord de *Mende*, c'est toujours aux approches du granite.

Ce sont des grès de même nature qu'on trouve en assises horizontales, à des hauteurs considérables, sur les plateaux granitiques des environs du *Pont-de-Montvert* et de *Villefort*; mais là, ils ne sont recouverts d'aucune autre formation. C'est sur l'un de ces lambeaux de grès avec calcaires marneux, situé entre Pont-de-Montvert et La Tour, au-dessus du granite, que Vialas vient prendre les terres calcaires, nécessaires à son traitement métallurgique.

On ne trouve aucun fossile dans ces couches.

Nous rapportons ces grès au lias, en remarquant que quand ils existent sous les dolomies, il n'y a pas de différence de stratification observable; il y a au contraire passage de l'un à l'autre de ces étages par les couches siliceuses qui les terminent l'un et l'autre, à leur jonction. Enfin, il nous paraît très-possible que le dépôt du lias ait commencé par quelques couches de grès, immédiatement au-dessus du granite, tandis qu'en général, sur les schistes, il ait commencé par des calcaires.

D'un autre côté, on comprend qu'on puisse les rapporter au tryas, à cause de la ressemblance minéralogique des roches, et aussi parce qu'ils manifestent une certaine indépendance d'allure, en recouvrant seuls ces immenses plateaux dont nous parlons plus haut.

Sur notre carte, nous les avons considérés comme grès infraliassiques.

2° Calcaires dolomitiques.

Dans la plupart des points, le lias commence par une série d'assises ordinairement dolomitiques. Elles sont d'une puissance variable de $0^m,50$ à 1^m. Jaspées et chargées de grains quartzeux vers la base, elles n'en renferment plus dans leur partie supérieure. La roche la plus fréquente dans ces couches est une dolomie terne et grenue, mais à grains fins; puis viennent des

calcaires ferrugineux ou manganésiens; toutes ces roches sont toujours d'un brun foncé et quelquefois marbrées. Fissurées en tous sens, les couches présentent de nombreuses cavités, remplies de géodes de chaux carbonatée rhomboédrique.

Aux environs de Montmirat et des Combettes, les couches inférieures de cet étage deviennent très-ferrugineuses, et on y trouve des indices de manganèse. Quelques échantillons, pris sur ces couches, nous ont donné à l'analyse 12 à 15 p. 100 de peroxyde de fer, un peu de carbonate de chaux, et le reste en sable quartzeux.

Nous avons fait aussi plusieurs analyses des calcaires dolomitiques, pris notamment dans les quartiers à alquifoux, et voici la composition, que nous avons presque toujours trouvée :

Carbonate de chaux.	58
Carbonate de magnésie.	29
Peroxyde de fer.	5
Résidu quartzeux.	3
Eau, traces de manganèse.	5
	100

Cet étage se termine, particulièrement dans le quartier des Bondons, par une couche arénacée assez épaisse : elle se compose de menus fragments de calcaire d'un jaune sale, très-mal cimentés par un peu d'argile, et presque sans consistance.

Nulle part on n'observe de fossiles dans cet étage.

La puissance totale des calcaires dolomitiques varie entre 25 et 50 mètres. Il est rare qu'ils ne soient pas immédiatement recouverts par les assises plus minces de l'étage suivant.

3° Calcaire à gryphées arquées. Ce groupe se compose de couches de $0^m,30$ à $0^m,50$ d'épaisseur, d'un calcaire gris clair à l'intérieur et jau-

nâtre à la surface. Ses assises sont séparées entre elles par des lits de marnes noires, bleuâtres et feuilletées, dont l'épaisseur augmente graduellement jusque dans la partie supérieure, c'est-à-dire jusqu'au voisinage des marnes supraliassiques. Quelquefois les dernières couches calcaires sont chargées de noyaux siliceux très-abondants.

La teinte seule des deux étages qui précèdent, suffit pour les délimiter, et même à de grandes distances; car la couleur foncée des couches dolomitiques contraste toujours fortement avec le jaune pâle des calcaires à gryphées. D'un autre côté, l'absence absolue de fossiles dans les premières et l'abondance si grande dans les secondes des gryphées, des bélemnites, des ammonites et des peignes sont des différences qui justifient suffisamment la distinction que nous avons admise.

C'est la formation du lias inférieur ainsi composée, qui couvre les plateaux granitiques ou schisteux *l'Allenc*, *Gendric*, *Grosviala*, *Bagnols*, *Bleymard*, *Cubières*, etc., au nord de la Lozère, et ceux de *Montmirat*, des *Bondons*, etc., au sud.

C'est enfin dans les couches dolomitiques, que sont concentrés tous les gîtes d'alquifoux, exploités sur ces divers points.

Les marnes supraliassiques viennent en recouvrement sur les deux étages ci-dessus décrits, mais un peu à l'ouest de la limite des terrains secondaires et des terrains cristallisés. Cette partie supérieure du lias consiste en couches ou feuillets de marnes noires bitumineuses, d'un délit assez facile. Dans leurs assises supérieures, on voit souvent intercalées des couches minces d'un calcaire jaunâtre à l'extérieur et gris cendré à l'intérieur. Ces marnes sont toujours chargées d'un grand nombre de bélemnites; on y voit fréquemment

4° *Marnes supraliassiques.*

aussi des ammonites ferrugineuses. Les deux ou trois cônes, que cet étage forme entre les Bondons et les Combettes, sont très-riches en fossiles de cette sorte.

Les marnes supraliassiques disparaissent souvent sous les étages oolitiques; mais on les aperçoit presque toujours dans les coupes naturelles, et leur puissance augmente rapidement vers le sud et vers l'ouest.

Toute la formation du lias est, de même que le trias, traversée par certains filons métallifères, et les couches elles-mêmes deviennent quelquefois assez riches en minerais, pour être très-exploitables. Nous reviendrons sur ces faits plus tard, dans l'étude des filons.

Formation jurassique.

L'absence de minéraux métalliques, dans les divers étages oolitiques, nous a engagé à ne pas faire sur notre carte, de distinction de groupes. Au reste, cette formation est très-peu développée dans la partie de terrains secondaires comprise dans notre travail, et nous n'en parlerons pas.

Terminons par quelques mots sur l'allure générale des couches secondaires. En général, soit dans le trias, soit dans le lias et même dans l'oolite, le pendage des couches est très-faible; elles paraissent même souvent horizontales. Là où le pendage est le plus fort, il ne dépasse pas 10 à 15° au plus; tantôt au nord, tantôt au sud, avec une direction E.-O. en moyenne.

CHAPITRE II.

DIVISION PAR GROUPES DES GÎTES MÉTALLIFÈRES.

Les gîtes métallifères, que nous allons décrire, sont disséminés dans les divers terrains que nous avons étudiés, quoique cependant assez inégalement répartis entre eux; la formation schisteuse est en effet de beaucoup la plus riche en minerais métalliques. Ces miné-

ux ou minerais métalliques sont pour la plupart en ons; si on en trouve quelques-uns en amas ou en uches, ils paraissent même encore en ce cas, en rela-on avec quelque gisement en filon. Après les gîtes con-nant du plomb, argentifère ou non, du cuivre, de ntimoine, nous n'aurons guère à citer d'autres mi-erais réellement exploitables (1). Ainsi, certaines uches du lias et du tryas sont assez riches en oxyde fer, mais cependant, à cause des circonstances lo-les, pas assez pour être exploitées. Le manganèse ydé, voilà le seul minerai à ajouter à ceux de plomb de cuivre. Aussi, nous rapporterons les gîtes à dé-rire, aux titres suivants :

1° *Gîtes de galène argentifère;*

2° *Gîtes de galène argentifère avec cuivre, ou gîtes lombo-cuivreux;*

3° *Gîtes de cuivre pyriteux;*

4° *Gîtes d'alquifoux ou de galène pauvre en argent;*

5° *Gîtes d'antimoine sulfuré;*

6° *Gîtes de manganèse.*

---

(1) On a souvent signalé des gisements de houille dans cette ontrée; mais le terrain houiller proprement dit n'affleure nulle art dans la Lozère ; on peut même *affirmer qu'il n'existe pas, ous les terrains stratifiés postérieurs, dans une grande artie de l'anse qu'ils forment entre les massifs primordiaux e l'Aveyron et de la Lozère.* Les gisements signalés se réduient à un petit lit de lignite très-mince et très-pyriteux que ous avons indiqué dans le tryas. Les terrains jurassiques, urtout vers le sud (environs de Meyrueis) où ils se développent eaucoup, renferment quelques indices qui correspondent eut-être aux couches plus épaisses et déjà exploitées du Lar-ac, du Causse-Noir, des environs de Trèves. Les produits de es derniers points pourraient un jour alimenter, au moins par-iellement, des usines placées près de Meyrueis.

§ I. *Gîtes de galène argentifère.*

La galène argentifère, le minerai le plus abondant dans la Lozère, se trouve :

1° Aux environs de *Meyrueis*, près de l'Aigoual ;

2° Sur une ligne E.-O. dirigée de *Cassagnas* vers le *Collet-de-Dèze* et *Portes* (Gard) ;

3° Sur une ligne E.-O. de *Florac* (Lozère) à *Chamborigaud* et *Peyremale* (Gard), passant par *Cocurès*, *Bèdouès*, *Pont-de-Montvert*, *Vialas*, c'est-à-dire côtoyant le revers sud des *Monts-Lozère*.

4° Le long d'une ligne reliant *Mende* et *Villefort* sur le revers nord de la Lozère.

1° Environs de Meyrueis.

Nous trouvons aux environs de Meyrueis les filons de *Ribevènès*, de *Férussac*, du *Marquairès* et de *Cabrillac*. En les décrivant, nous citerons aussi les filons de galène argentifère qui affleurent, presque à la limite du Gard et de la Lozère, auprès de *Saint-Sauveur-des-Pourcils*.

Filons de Ribevènès.

A une demi-heure au sud de Meyrueis, en remontant le ruisseau du Brézé, on trouve, sur la rive gauche de ce ruisseau, un ensemble d'affleurements bien caractérisés ; il court sur la gauche du Brézé jusqu'au hameau de *Pourcaresses*, où il saute sur l'autre rive, pour aller se perdre aux approches du granite de l'Aigoual (aux environs de *Campise* et *Campredon*).

Cet ensemble très-puissant se divise en plusieurs affleurements, qui se voient sur toute cette étendue, en se croisant assez souvent. Ainsi, c'est à cette bande qu'appartient sans contredit la crête quartzofeldspathique visible au col du *Malpertus*, sur le chemin de *Meyrueis* aux *Oubrets*, et plus loin auprès de *Pourcaresses*, à droite du Brézé. La galène est abondante au col de *Malpertus ;* mais en montant de là perpendi-

airement au Brézé, on recoupe à l'ouest d'autres ties riches des affleurements. Parmi les diverses nches, qui occupent là une largeur totale de 50 à mètres, les plus élevées au-dessus du ravin passent les plus riches; c'est sur elles qu'ont été outs les travaux, tant anciens que nouveaux, du ravin l'*Escourgeade*.

Dans tout leur parcours, les affleurements surgissent milieu des schistes, sous forme de murs quartzeux s ou moins hauts et épais, et presque toujours veraux; ils plongent quelquefois un peu au S.-S.-O. direction de cet ensemble est O.-N.-O. Les crêtes ncipales suivent très-régulièrement cette direction; is il en est d'autres moins visibles, qui croisent les-là et semblent n'en être que des ramifications.

La roche composante est surtout formée de quartz, débris de schistes imprégnés ou plaqués, comme le emier, de pyrites de fer, de blende, de galène à grain acier, avec quelques rares mouches de cuivre pyrix. Le sulfate de baryte est très-rare dans la partie plorée à Ribevénès.

Avec le quartz, on trouve souvent aussi, comme au *alpertus*, une roche feldspathique verdâtre, quelques, mais rarement, micacée; elle se décompose aisément à l'affleurement et devient alors difficile à définir; contact de ces crêtes, les schistes sont silicifiés, considérablement durcis et jaspés.

La galène est donc l'élément utile dominant dans la rtie explorée à Ribevénès; mais doit-on séparer ces ons de ceux qui leur sont parallèles et très-voisins, r la rive droite du Brézé et où le cuivre devient assez ondant vers l'est, à Campise et Campredon : c'est ne question sur laquelle nous reviendrons dans l'étude es gîtes plombo-cuivreux.

Pour le moment, nous remarquerons que le système d'affleurements que nous venons d'étudier à *Ribevénès*, se prolonge vers l'ouest, à travers les assises du lias qui recouvrent les schistes à partir du bois de *Roquedols*. La direction semble alors s'infléchir davantage vers le N.-O., en même temps que la roche de remplissage varie, comme la roche d'encaissement. Les affleurements sont alors moins puissants et moins réguliers; à l'exception de deux crêtes N.-O. observées à l'ouest du hameau de *Pradines*, on ne voit dans ce quartier que des veinules N.-O. de quartz cristallin avec sulfate de baryte, courant à travers les assises du lias. Ces couches elles-mêmes renferment souvent des nids de sulfate de baryte tabulaire. Les deux crêtes principales sont dirigées et composées comme ces veinules; elles coupent la route de *Meyrueis* à *Saint-Jean-du-Bruel*. Il y a là des traces d'anciens travaux; il y a deux galeries de traverse et d'allongement qui n'ont pas dû donner grands résultats, si on en juge par leur peu de développement. D'ailleurs, les affleurements eux-mêmes ne marquent guère que quelques altérations cuivreuses.

Quant aux travaux d'exploration entrepris en 1852 et en 1853 à Ribevénès, sur un point qui paraissait avoir été fouillé anciennement, ils ont mis à nu de belles et nombreuses veines de galène argentifère avec cristaux de carbonate de plomb. Il était cependant impossible avec les résultats obtenus, au moins en 1853, de bien établir l'allure des veines minérales.

Filons de Férussac.

A cinq minutes de *Férussac*, en suivant le Bétuzon vers le *Villaret*, ce ruisseau est coupé par le ravin de *Valborgne*. C'est à mi-côte, le long de ce ravin, que sont les filons dits de Férussac. Nous y avons vu deux affleurements avec galène argentifère, au contact de

ns de granite pegmatite, qui traversent là les schistes bandes puissantes. Le premier des filons de galène, plus visible, forme l'éponte du mur de l'une de ces ıdes granitiques. Sur la portion de l'affleurement est à l'ouest du ravin, en montant, le filon de gra- e a 4 ou 5 mètres de puissance; dirigé de l'est à uest, il plonge vers le nord; son mur est formé sur 40 d'épaisseur d'une zone de quartz bipyramidé à ntements opposés. Ce n'est que dans la partie est, e le quartz, se continuant très-régulièrement au ır du granite, renferme de la galène argentifère, le ng d'un petit filet très-mince. C'est sur ce point 'on a ouvert une galerie d'exploration; on l'a aban- nnée au bout de 2 ou 3 mètres, qui n'ont donné 'un peu de galène avec mouches de cuivre pyriteux. r le flanc de la montagne, ce filon se poursuit à l'est, rs le chemin des Calcadis, mais toujours stérile.

Au sommet du ravin de Valborgue est le second leurement; sa direction est difficile à assigner, car n'est représenté que par quelques masses quartzeuses raissant orientées sur le N.-O., et qui se poursuivent squ'à la rencontre du premier. Toutes ces masses, ıi sans doute appartiennent à quelque crête, sont ériles. Pourtant, on trouve encore ici une ancienne alerie de traverse, qui date de la fin du siècle dernier, qui devait aboutir au filon; elle est aujourd'hui bstruée, mais il serait intéressant de la réouvrir, car lle semble avoir été très-soignée; peut-être a-t-elle esservi des explorations avantageuses.

Environs de Férussac et du Villaret.

Les schistes sont sillonnés, dans cette région, de gros lons de quartz sauvage, quelquefois carié ou ocreux; nais partout ils semblent stériles. Leur direction se approche quelquefois de celle des filons métallifères.

Filon du Marquairès.

Un peu au N. du hameau de Marquairès, sur la rive

gauche du Tarnon, apparaît sur une direction E., quelques degrés N.-E., O.-S.-O., une crête quartzo-barytique de 10 à 12 mètres de puissance en quelques points. Cet affleurement monte vers la cime de la montagne ouest, mais on le perd à l'est, au delà du Tarnon.

Ce filon offre une association remarquable dans la roche de remplissage. Après le quartz et le sulfate de baryte, qui forment des veines ou veinules sur toute l'épaisseur de l'affleurement, nous citerons le granite porphyroïde, le granite passant à l'eurite et au porphyre roses, une bande de roches feldspathiques noires qui limite l'éponte nord du filon. Enfin, les débris des talcschistes encaissants se retrouvent empâtés au milieu de tout cela. Le filon affleure à peu près à la limite des schistes et du granite porphyroïde. La crête de ce gîte est très-ocreuse; mais là, aussi bien que dans les déblais laissés par les anciens travaux, nous n'avons vu que de rares fragments de minerai. Cependant, d'après les renseignements qui nous ont été donnés, il y en avait et même de très-beau. Ces anciens travaux ont dû être assez activement menés; ils consistent en fouilles à ciel ouvert et galeries de niveau. La révolution de 1789 à 1792 les a interrompus.

Filon de Cabrillac.

Entre les hameaux des *Fons* et de *Cabrillac*, au milieu du granite, se voit un filon de galène et blende orienté du S.-E. au N.-.O, au moins dans le ravin du *Rioufreg*, où nous l'avons observé. C'est grâce aux eaux qui coulent dans ce ruisseau, qu'on aperçoit les veines minérales, car autrement le filon n'a pas de crêtes et n'est pas nettement séparé du granite encaissant. Sur toute la largeur du ravin, on suit des veines de blende et galène dont l'épaisseur minérale totale peut atteindre 40 ou 50 centimètres; la puissance totale

ur laquelle le minerai est éparpillé dans le granite tant de 2 mètres à 2^{m},50 environ. Le minerai est composé de galène et blende sur une gangue de granite décomposé, avec carbonate de chaux. La galène y est à grandes facettes et la blende, en petits cristaux rougeâtres. C'est un minerai assez compliqué et pauvre en argent, d'après des essais en grand faits à Marseille, sur les produits de quelques fouilles superficielles qu'on y avait entreprises.

Filons de galène des environs de Saint-Sauveur.

Ces gîtes sont trop rapprochés de Meyrueis pour que, si l'exploitation des précédents était tentée, on ne les reprît pas en même temps. Au reste, comme ensemble, il convient encore d'en parler ici.

Auprès de *Saint-Sauveur-des-Pourcils*, on distingue deux crêtes très-régulièrement dirigées E.-S.-E., O.-N.-O. et d'une composition à peu près identique; on les nomme filons de *Saint-Sauveur* et de *Sainte-Barbe*; tous les deux renferment de la galène argentifère avec blende sur gangue de quartz, sulfate de baryte et carbonate de chaux. Visibles sur de très-grandes longueurs, ils passent des schistes dans les calcaires du lias, en marchant de Saint-Sauveur-des-Pourcils vers Montjardin et Lanuéjols.

C'est particulièrement sur ces deux filons qu'ont été dirigés les anciens travaux, dont nous donnerons plus tard les résultats.

Tels sont les principaux filons de *galène argentifère* des environs de *Meyrueis*. Ajoutons seulement que sur le versant oriental de l'Aigoual et sur la pente nord des monts de l'Hesperou, M. de Gensanne signale, dans le quartier de Valleraugue (Gard), plusieurs filons de galène argentifère dont l'allure générale rappelle celle des filons précédents. Le même auteur signale encore,

entre le château d'Aires et Meyrueis, un autre gisement analogue que nous n'avons pu retrouver.

2° Ligne de gîtes compris entre Cassagnas, Bluech, le Collet-de-Dèze et Portes.

Dans cette zone sont compris : les filons de *Bluech*, *Castanet*, *Pradel*, *Aubras* et *la Bégude*.

Filons de Bluech.

Ce sont les plus importants et les seuls en exploitation aujourd'hui dans cette bande. Ils constituent un ensemble d'affleurements très-remarquables par la constance de leur composition et par leur énorme puissance. Non loin du petit hameau de *Bluech*, commune de *Saint-Privat-de-Vallongue*, au lieu dit *mine de Bluech*, s'élève au milieu des schistes une énorme crête de quartz et baryte sur 15 et 20 mètres d'épaisseur, presque verticale ou plongeant un peu au nord; elle est déchiquetée et profondément ravinée, mais les parties quartzeuses, plus résistantes, se sont maintenues droites, sous forme de ruines ou de pyramides, dont la hauteur atteint souvent 7 ou 8 mètres. Cette ligne d'affleurements principaux se poursuit sur la direction E.-O., d'une part vers la *Memente*, où elle va buter contre une bande de fraidonite décrite à l'introduction, et, d'autre part, à l'E., vers le *Cros* et *Saint-Privat-la-Combe*, où elle se perd sous les terrains mieux cultivés qui bordent là le Gardon du Collet.

Sur toute cette longueur, la puissance éprouve souvent des amincissements, de même qu'aussi l'affleurement se divise en plusieurs autres, soit parallèles entre eux et à la direction E.-O., soit divergeant d'abord pour aller encore se croiser un peu plus loin.

Quant au remplissage, le sulfate de baryte forme des bandes très-régulières presque toujours pauvres en minerai, alternant avec des veines de quartz : les schistes, brisés et très-riches en quartz, sont traversés par des veinules de ce dernier minéral. La galène se trouve abondamment répandue dans ces schistes et

quartz; elle est à grain d'acier ou compacte, ou bien encore, et notamment dans la baryte, en masses cristallines bleuâtres.

Les points d'attaque des anciens sont très-nombreux : c'est qu'en effet déjà, à la surface, on voit souvent briller la galène.

A cette ligne principale paraissent se rattacher divers affleurements qui la côtoient en la coupant sous des angles très-faibles et qui n'en sont vraisemblablement que des ramifications. Parmi ces branches, nous en citerons une découverte récemment sur la rive droite du Martine-Ruis, un peu au-dessus du Bourniges, et qui a donné de magnifique minerai à la surface même.

C'est sur ce gîte important qu'ont été ouverts tous les travaux de la mine de Bluech; nous les décrirons plus tard; nous observerons seulement, que la partie de ces anciens travaux, aujourd'hui déblayés, permet de reconnaître un enrichissement notable en profondeur; le quartz paraît aussi devenir la gangue la plus abondante.

Filon de Castanet.

Parallèlement au gîte de Bluech, s'étend un affleurement de même nature et d'une puissance assez considérable, car elle atteint en certains points 5 et 6 mètres et même plus si l'on y rattache quelques filets plus ou moins divergents, visibles sur la droite ou sur la gauche de la veine principale.

On voit cet affleurement bien développé, surtout dans les ravins des *Jonquiès* et de la *Martinerie*, à la hauteur des hameaux de *Castanet* et de *Puech Bouzon*.

Il se poursuit d'ailleurs à l'O. et à l'E. de ces hameaux comme le premier affleurement et assez loin; mais les prairies ou les châtaigneraies le recouvrent et le dissimulent souvent.

Ce filon a, dit-on, été exploré et même exploité an-

ciennement; nous avons bien reconnu la même direction, la même plongée, la même composition de la roche de remplissage, bref la même nature de gîte qu'à *Bluech;* mais, même aux points signalés plus haut, nous n'avons pas vu de minerai à l'affleurement; nous n'y avons observé que de la *baryte sulfatée* avec quartz et nombreuses altérations ferrugineuses.

Avant de quitter la région de *Bluech*, quelques mots de deux ou trois filons ou filets, qui affleurent sur les bords du *Martine Ruis* et qui, par leur direction, viendraient couper les importants filons qui précèdent. Ce sont ordinairement des veines peu puissantes de pyrites de fer, paraissant arsenicales, avec des mouches assez rares de galène; le tout, dans une roche de schistes plus ou moins pourris, où circulent des nerfs quartzeux très-durs.

L'aspect de ces veines et de la roche qui les remplit, rappelle assez les filons d'antimoine sulfuré très-fréquents dans la contrée. Leur direction les rapproche des mêmes gîtes, car ils marchent d'ordinaire du S.-S.-O. au N.-N.-E. Somme toute, il n'y a aucun rapprochement à faire de ces filets et des filons principaux dont nous parlions plus haut, de la richesse desquels dépend surtout l'avenir des mines de *Bluech*.

Filons de la Bégude et d'Aubras.

Ces filons, par leur nature comme par leur direction, semblent appartenir à la même bande E.-O. que les filons principaux de *Bluech* et de *Castanet*. Nous n'hésitons pas à les relier à ceux-ci, malgré la grande distance qui les sépare sur la carte; si l'on s'en étonne maintenant, il n'en sera plus de même, quand nous serons plus avancés dans la description de ces gîtes.

Nous les avons visités de *Portes* (Gard) et, pour les trouver, il suffit de suivre le chemin de *Portes* à *Mende*, jusqu'à la hauteur du *Pereirol;* de là, descendant vers

le quartier des *Aubras*, on trouve un affleurement principal quartzobarytique coupant les schistes micacés sur la direction E.-O. un peu N.-O. avec une puissance moyenne de 1 mètre à 1^{m},50. A droite et à gauche de ce premier affleurement, on en voit plusieurs autres moins forts, rapprochés, parallèles et formant comme une bande E.-O. de petits filons de même nature que le premier. La plupart de ces affleurements marquent de la galène argentifère, mais très-peu abondante.

Les circonstances locales seraient peu favorables à l'exploitation. On y a d'ailleurs tenté quelques fouilles de surface peu importantes.

Nous n'avons voulu en indiquant ces filons que montrer le prolongement probable vers l'E. de la bande métallifère passant à *Bluech* et à *Castanet*.

Filons de Pradal.

Nous avons vu tout à l'heure les filons de *Bluech* et de *Castanet* venir buter vers l'O. contre une bande de Fraidronite. Lorsque, suivant le cours de la *Memente*, qui longe à peu près exactement cette bande, nous la descendons jusqu'auprès de *Cassagnas*, nous trouvons un ensemble de filons connus sous le nom de *filons de Pradal* appartenant à la concession de *Bluech* et *Pradal* et anciennement explorés, comme ceux-ci, à cause de la galène argentifère qu'ils renferment. Ces filons dont la direction oscille entre l'E.-O. et le S.-E.-N.-O. paraissent s'arrêter dans leur partie E. contre la même bande de Fraidronite qui coupe les filons de *Bluech*, sur son prolongement O. Si d'ailleurs nous tenons compte de la nature des filons, de leur direction, de leur plongée, de la direction enfin de la bande de la Fraidronite elle-même, nous sommes amenés à supposer, que les filons de *Pradal* ne sont que le prolongement de ceux de *Bluech*, prolongement rejeté le long de la bande de Fraidronite, à une distance de 2 à 3 ki-

lomètres : au reste voici quelques observations à l'appui de cette hypothèse.

Aux approches de la bande de Fraidronite, le filon de *Bluech* n'apparaît plus que sous la forme d'une crête quartzeuse plus ou moins puissante, mais toujours stérile. Au delà de la bande, c'est-à-dire sur la rive droite de la *Mementa*, nous avons en vain cherché les traces de cet affleurement, si bien caractérisé, jusqu'auprès de la Fraidronite.

L'apparition de cette roche semble avoir été la suite d'un bouleversement considérable, si l'on en juge par la perturbation qu'il a produite dans l'allure des schistes, au col de *Jalcreste*, au Rouve et le long de la *Mementa*, jusqu'à Pradal et Cassagnas.

La bande qu'elle forme le long de la *Mementa*, entre le *Rouve* et *Pradal*, arrête vers l'E. les filons de *Pradal* comme elle coupe à l'O. ceux de *Bluech*. Ce fait serait bien d'accord avec notre hypothèse.

Au reste l'exploitation des filons de Pradal, essayée à la fin du siècle dernier, ne paraît jamais avoir beaucoup produit.

3° Ligne des gîtes compris entre Florac-Vialas, Chamborigaud et Peyremale.

Cette ligne est, parmi toutes celles dont nous avons à parler, la plus riche en galène argentifère et, en général, c'est aussi celle, où les filons paraissent au premier abord les plus irréguliers, quoique cependant on puisse, par une étude attentive, les grouper d'une manière fort simple. Il faut encore remarquer la constance de composition de tous ces filons et l'absence des minerais autres que la galène, dans toute cette zone. Comme le titre l'annonce, c'est sur cette ligne que nous rencontrons les seules mines de la Lozère, qui aient été l'objet d'une exploitation sérieuse et soutenue, nous voulons parler des mines de Vialas. Mais ce que *Vialas* est à l'extrémité *Est* de la ligne, la con-

cession de *Bédouès* et *Cocurès* peut le devenir à l'extrémité ouest.

Marchant de l'ouest à l'est dans cette zone, voici les filons que nous décrirons successivement :

1° *Filons compris dans la concession de Bédouès et Cocurès ;*

2° *Filons éparpillés aux environs de Pont-de-Montvert, entre la concession précédente et celle de Vialas ;*

3° *Filons compris dans la concession de Vialas ;*

4° *Filons qui se trouvent à l'extrémité Est de la zone, à la limite du Gard et de la Lozère, près de Chambori-gaud et au delà, vers Peyremale (Gard).*

Concession de Bédouès et de Cocurès.

Tous les filons de cette concession affleurent sur les deux rives du Tarn, et en général fort près de cette rivière, circonstance favorable à plus d'un titre. La plupart des travaux exécutés jusqu'ici sur ces filons, sont des fouilles très-peu importantes et cependant, elles ont souvent mis à nu de très-belles veines minérales.

Pour plus de clarté dans la description des nombreux affleurements découverts dans cette concession, il convient de les grouper autour des titres suivants :

Filons : de la Baume, du Vallat des Peupliers, du Vallat de la Gule, des Agudes, de la Descente du Tarn ; tous sur la rive droite du Tarn.

Filons : des Vallats Roussouneinc et Vallongue et de la rive gauche du Tarn.

Filons de la Baume.

A très-peu de distance à l'est du hameau de la Baume et au nord du village de Bédouès, sur la rive droite du Tarn, affleurent deux filons de galène argentifère, qui ont été autrefois exploités ou explorés,

Le premier affleure au milieu des schistes micacés, non loin d'une bande de roches feldspathiques passant

en quelques points, au granite pegmatite. Sa direction marche entre le N.-S. et le N.-O.-S.-E. : il traverse la rivière du Tarn et semble se prolonger vers Bédouès. Il est composé de quartz, schistes brisés et sulfate de baryte, le tout souvent imprégné de galène à très-petites ou à très-grandes facettes. La puissance varie à peu près entre 60 centimètres et 1 mètre.

Il paraît avoir une très-forte plongée vers le N.-E., quand il n'est pas vertical.

C'est sur cet affleurement, qui paraît d'ailleurs se prolonger au loin vers le N.-O. sur le flanc de la montagne, qu'ont été ouvertes les anciennes galeries d'exploration. Mais toutes ces galeries poussées en direction se bifurquent, à une certaine distance de l'entrée, et suivent d'une part, le filon précédent et sur la gauche, c'est-à-dire vers O.-N.-O. un second filon, de même nature que le précédent et dont nous avons en effet constaté l'affleurement dirigé du S.-S.-E. au N.-N.-O. On peut suivre cet affleurement assez loin vers l'O.; vers l'E. il est moins visible et il doit aller buter contre la bande de roches éruptives, dont nous parlions plus haut.

Cet affleurement ne marque rien à la surface, mais, en profondeur, si c'est, comme nous le pensons, sur ce filon qu'ont été dirigées les galeries O. des anciens travaux, on trouve du minerai aussi beau et de même nature que celui du premier filon, quoique cependant il nous ait paru en général plus pyriteux.

Ces deux filons seront probablement tourmentés, recoupés à l'intérieur par des ramifications de roches éruptives, qui se rattacheront à la bande dont il est parlé plus haut.

Nous ajouterons que, si nous n'avons pu reconnaître d'une manière précise que deux affleurements, nous

avons cependant remarqué dans ce quartier et, notamment au contact de ces roches éruptives, de nombreux indices ; cela, joint à ce qui précède, permet donc de signaler ce quartier comme d'une exploration avantageuse.

Enfin nous dirons qu'on trouve des indices d'affleurements de même nature dans les Vallats des Roussins et d'Oursières, vis-à-vis de la ferme d'Arigès, mais sur la rive droite du Tarn. La direction et la composition de ces affleurements nous feraient supposer que ce sont les prolongements du faisceau de la Baume.

Filons du Vallat des Peupliers.

Si nous gravissons la montagne de la Baume vers le N.-N.-E. de manière à gagner le haut du Vallat-des-Peupliers, nous trouverons non loin de la même bande de roches feldspathiques, mais à l'E. de cette ligne, une série d'affleurements qui se relient tous les uns aux autres et qui se rapportent aux titres précédents.

D'abord, transversalement au ravin des Peupliers, se suivent trois ou quatre affleurements parallèles, invariablement composés de quartz et sulfate de baryte, avec galène argentifère disséminée ou apparaissant par taches ou mouches plus ou moins nombreuses.

Ces affleurements courent tous dans les schistes micacés sur une direction très-régulière E.-O., un peu N.-O. Leur puissance dépasse rarement $0^{m},50$. On n'a fait aucun travail sur les veines métallifères, et il est impossible de juger de leur véritable puissance et de leur inclinaison. Nous serions assez tentés de croire que toutes appartiennent à un seul et même filon.

Quoi qu'il en soit, un peu plus bas et toujours dans le même ravin, affleure, sur une direction un peu oblique à la précédente, un filon mieux caractérisé, sur

lequel, d'ailleurs, on a ouvert récemment une galerie de recherche. Il croise les premières veines sous un angle très-petit en se dirigeant du S.-O.-O. au N.-E.-E. Il est composé, sur une épaisseur moyenne de $0^{m},50$ à 60, de sulfate de baryte, quartz, schistes brisés avec une veine de galène argentifère très-exploitable.

De ce dernier filon se détache une autre veine de même nature, mais moins importante et non explorée.

Ces deux derniers affleurements se poursuivent vers Cocurès en traversant le ravin de la *Gule*, au delà duquel ils s'infléchissent le long du chemin de Cocurès à Mende, pour aller peut-être réapparaître à la *descente du Tarn* et même, dans le *vallat de Roussouneine*.

Les premières veines E.-O., un peu N.-O., que nous suivions tout à l'heure dans le ravin des Peupliers, se poursuivent vers le quartier des *Agudes*, plus loin au *sud de Cocurès, sur les bords du Tarn;* et enfin, semblent se réunir aussi et couper les deux filons de la *Gule*, vers le ravin de *Roussouneine*, de sorte que les deux extrémités de cette ligne doivent être les plus riches en affleurements, comme aussi elles le paraissent en minerai.

Enfin, il est à remarquer que, vers ces deux extrémités, affleurent, au milieu des schistes micacés, deux bandes ou pointes de granite, accompagné de roches feldspathiques se rapprochant assez du feldspath compacte observé près de *Vialas*.

Filons du ravin de la Gule.

Les prolongements, dans le haut du ravin de la *Gule*, consistent en plusieurs veines barytiques, et parmi lesquelles, on distingue un affleurement principal de même nature, dirigé de l'E., un peu N.-E., à l'O., un peu S.-O, puissant de 1 mètre en quelques points, presque uniquement composé de sulfate de baryte avec galène assez abondante.

C'est probablement au même affleurement qu'il faut rapporter le filon exploré sur le bord du chemin de *Mende* à *Cocurès*, où il a paru très-productif en galène argentifère. A droite et à gauche, s'en échappent encore de nombreuses ramifications.

Tous les filons qui précèdent et leurs prolongements, dont nous allons parler, ont en général une très-forte plongée vers le nord, quand ils ne sont pas verticaux. Ils ont, avec les caractères communs qui précèdent, un autre très-général, celui de tenir de la galène argentifère même à la surface, et cela en très-grande abondance.

A partir de ce point, les affleurements disparaissent sous les champs cultivés des environs de *Cocurès*, et on ne retrouve plus d'indices qu'à la descente du Tarn.

Mais avant d'arriver là, si, en remontant cette rivière et passant par le moulin de la *Mingue*, nous suivons la rive droite, nous constaterons encore deux affleurements, l'un dans le ravin de la *Gule*, quartier des *Agudes*, et l'autre à l'est du moulin de la *Mingue* et au sud de *Cocurès*.

Le premier consiste en deux veinules parallèles de sulfate de baryte, dirigées comme celles des Peupliers, dont elles sont vraisemblablement le prolongement.

Puissantes de quelques centimètres seulement, elles marquent pourtant assez de galène, pour espérer qu'à cet affleurement se rattache un filon important en profondeur.

Elles n'ont pas été explorées, non plus que le second affleurement, qui, plus mince encore, mais de même nature et marquant seulement de la pyrite, se poursuit sur la même direction, jusque sous les eaux du Tarn, qu'il saute pour marcher vers le quartier de *Roussouneine*.

Filons de la descente du Tarn.

Enfin, nous voici au coude N.-E., formé par le Tarn au S.-E. de Cocurès, point désigné jusqu'ici sous le nom de la *descente du Tarn*. Le long de cette ligne, le mamelon de Cocurès est coupé presque à pic; c'est sur cette coupure que s'aperçoivent les divers affleurements dits de la *descente du Tarn*, au nombre de quatre ou cinq.

Trois d'entre eux, qui paraissent de beaucoup les plus importants, sont parallèles ou au moins se coupent sous de très-petits angles.

Le premier, le seul exploré, est dirigé très-sensiblement E.-O., un peu N.-O. Composé de schistes brisés, de quartz cristallin et de veines de baryte sulfatée, il présente une puissance de $0^m,50$ à 60 cent. environ; marque de la galène et de la pyrite à la surface; il court dans les schistes vers l'O., où on le perd rapidement; il se perd également à l'E. au milieu de la pointe de granite pegmatite, qui s'avance le long du Tarn, vers les vallats de *Vallongue* et Roussouneinc. Dans l'exploration qu'on a faite, on a reconnu un filon assez puissant plongeant vers le N., mais presque vertical, et donnant déjà de belle galène argentifère.

A gauche et à droite de ce premier affleurement, sont les deux autres. A gauche, en regardant la montagne, on trouve en effet une veine barytique de $0^m,20$ à 25 au plus, dirigée à peu près exactement de l'E. à l'O., plongeant vers le N., encaissée dans les schistes et marquant à peine quelques mouches de galène.

Enfin, le troisième affleurement le plus au N. des trois, est dirigé du S.-E. au N.-O., se poursuivant à l'O. de manière à aller passer sous *Cocurès;* il se relierait par conséquent avec les affleurements des vallats de la *Gule* et des *Peupliers*. Les deux autres iraient rejoindre ceux-ci par les *bords du Tarn* et par les *Agudes*, mais

en s'infléchissant un peu. D'ailleurs, ce troisième affleurement de la descente paraît ne consister qu'en un filet de pegmatite de $0^m,30$ d'épaisseur avec quartz et schistes d'accompagnement; on y trouve quelques mouches de galène assez rares.

Nous avons cherché en vain, les prolongements de ces trois affleurements vers l'O. et vers l'E. Cependant on nous a dit les avoir reconnus dans cette dernière région, c'est-à-dire sur la rive gauche du *Tarn*, mais avant les crues d'eau qui précédèrent notre visite.

Très-près de ce groupe à l'O. sont deux fentes assez profondes, dirigées presque N.-S., que l'on suppose être les vides provenant de l'exploitation à ciel ouvert de deux filons, qui affleuraient là. Mais, malgré l'apparence de déblais que présentent les schistes qui y sont accumulés, malgré la régularité de ces excavations, nous ne pouvons croire à l'existence de filons de plomb argentifère, car l'examen le plus attentif ne nous a donné ni roches de filons, ni minerai, ni traces d'affleurements dans les eaux du *Tarn*, au-dessous desquelles, on n'aurait certes pas exploité. D'ailleurs, il serait facile de s'en assurer par des fouilles superficielles.

Filons de Roussonneinc et de la rive gauche.

Le long du coude formé à la descente, par la rivière du *Tarn*, et sur toute la longueur du ruisseau de *Vallongue*, comprise entre le *Tarn* et le ravin de *Roussouneinc*, s'étend une pointe de granite passant souvent à la pegmatite et qui paraît avoir profondément modifié les schistes, en même temps qu'elle a produit au milieu d'eux de nombreuses fentes ou fissures. Les schistes sont là souvent gnessiques ou stéatiteux, ou bien encore durcis et comme jaspés. Que les filons que nous allons étudier soient contemporains de ces roches éruptives ou d'un âge différent, il faut s'attendre à les voir s'épandre sous plusieurs directions et ne pas s'étonner de voir des

affleurements très-irréguliers, et pour ainsi dire enchevêtrés les uns dans les autres. Malgré cette irrégularité apparente, il est pourtant possible de relier ces divers gîtes les uns aux autres et même aux précédents.

Allons d'abord au plus haut, vers l'E., dans *le ravin de Roussouneinc* : nous y trouvons le commencement d'un affleurement barytique qui se poursuit, de l'E. à l'O. le long de ce ravin, traverse le ravin de *Vallongue* et se continue sur le flanc O. de ce vallat. Pourtant, comme à son extrémité O. les déblais d'anciens travaux couvrent la surface, il est difficile de juger exactement de son allure en ce point ; nous serions tentés de croire qu'il y a bifurcation ou même une division en un plus grand nombre de ramifications, comme paraissent l'indiquer les anciens travaux du *Tourel*, sans doute ouverts sur le prolongement O. du filon principal de *Roussouneinc*. Ce qui nous confirme dans l'hypothèse d'un éparpillement du gîte vers l'O., c'est la grande abondance de déblais et la grande étendue qui en est là couverte. Les inventeurs de ces mines attribuaient ces anciens travaux à M. de Gensanne, mais les documents nous manquent pour appuyer cette assertion. D'ailleurs, les bifurcations sont fréquentes le long de cet affleurement, et depuis la mine du *Tourel* jusqu'au haut du ravin de *Roussouneinc*. D'abord, à la rencontre des deux vallats et un peu plus haut à l'E., tant qu'on est dans le granite, on n'aperçoit qu'une série de veinules qui courent dans tous les sens, tout en suivant la direction générale indiquée plus haut. Les unes sont barytiques, les autres pyriteuses, et presque toujours avec des petits filets de galène argentifère. Quand on sort du granite et que, vers l'E., les veines sont encaissées par les schistes micacés, elles deviennent plus régulières et plus puis-

santes, mais toujours composées de sulfate de baryte avec pyrites et galène. Souvent le filet minéral est exclusivement pyriteux. Il paraît même que vers l'E. l'affleurement se poursuit très-loin avec les mêmes caractères de direction et de composition, et qu'on en retrouve des traces au ravin de *la Picatière*.

A part les anciens travaux du *Tourel*, d'ailleurs peu développés, nulle part on ne trouve d'exploitation sur ce gîte probablement assez important.

Parallèlement au filon précédent, un second de même nature traverse le ravin de Vallongue, au sud du premier, mais également inexploré.

Enfin à ce filon principal de *Roussouneinc* se rattachent trois ou quatre autres veines marquant de la galène ou de la pyrite, qui coupent le premier sous des angles de 45° à 90°, et cela, non loin de la limite du schiste et du granite. Les deux premières se voient dans le vallat même de *Roussouneinc*; mais coupant ce ravin, elles se dirigent au N.-O. assez exactement, en restant à peu près parallèles à la limite des schistes et du granite : elles paraissent se prolonger vers le groupe de la descente; elles serpentent au milieu des micaschistes avec mélange de filets feldspathiques ou granitiques, surtout dans leur partie O. Vers leur extrémité O., ces deux affleurements sont à leur tour coupés par deux autres qui n'en forment à vrai dire qu'un seul, dirigé N.-S. un peu N.-E.-S.-O. : ce dernier consiste en deux veinules de sulfate de baryte moucheté de galène et pyrites, parallèlement auxquelles courent des filets granitiques qui les encaissent. Ces filets se suivent jusque vers les bords du *Tarn*, mais sans devenir plus importants.

Récapitulant les caractères des divers affleurements, ci-dessus mentionnés dans le quartier de *Roussouneinc*, nous voyons là un filon principal dirigé sensiblement de

l'E. àl'O., se divisant souvent en plusieurs veines parallèles, ou lançant dans toutes les directions des ramifications peu importantes, mais qui toutes cependant tiennent du minerai, indice très-favorable pour les explorateurs. Nous remarquons que l'irrégularité d'allure de ce gîte se manifeste surtout auprès de la pointe granitique du ravin de Vallongue. Nous avons déjà observé un fait semblable dans le *quartier de la Baume.*

A part l'immense étendue de déblais qui marque à l'O. le prolongement de ce gîte si puissant, nulle part sur cette montagne, il n'y a d'affleurements qui puissent s'y rapporter. Ce n'est que dans le ravin de *Roussanivols* que se retrouvent des indices satisfaisants. Un filon affleure sur le flanc droit du vallat et à peu près parallèlement à son cours, c'est-à-dire du S.-E. au N.-O., un peu N. Il plonge vers l'E., comme le montre très-bien une galerie à ciel ouvert, percée sur l'affleurement; encaissé par les micaschistes, puissant de 1 mètre à 1 ^{m},50; il se compose de schistes brisés bleus, de quartz et de sulfate de baryte; ce dernier minéral est en veinules qui courent au milieu des schistes et des veines de quartz. Le minerai qui est de la galène à petites et à moyennes facettes, paraît disséminé sur une épaisseur de 1 mètre. Ce filon est surtout très-visible sur une longueur de 50 à 60 mètres, et là, il nous paraît l'un des mieux caractérisés que nous ayons observés dans cette contrée. Il n'a été exploré que par ce travail en galerie de 3 à 4 mètres de longueur et de peu de profondeur. Vers le S.-E., en montant le vallat, on trouve une fente remplie de schistes brisés et qui coupe le filon précédent, car elle est dirigée E.-O. comme le gîte de *Roussouneinc.*

Enfin arrivons, toujours sur la rive gauche du Tarn, aux environs *du moulin de la Mingue;* nous retrouvons là des affleurements analogues qui peut-être relient ceux

ont il vient d'être question à ceux du quartier *de la Baume.*

Nous trouvons, à côté des affleurements galénifères, es veines ou filons de granite euritique ou de pegmaite semblables à ceux rencontrés plus haut. Nous etrouvons aussi deux directions différentes : l'une N.-O.-S.-E. comme pour le filon de *Roussanivols*, et 'autre E.-O., un peu N.-O., comme pour le gîte de *Roussouneine.*

A la première se rapportent trois veines principales, outes trois composées de sulfate de baryte avec galène. Elles affleurent dans les eaux ou sur les bords mêmes du *Tarn*, et les quelques fouilles qu'on y avait ouvertes à l'affleurement, sont actuellement comblées par les crues. La veine du milieu court parallèlement à un filon euritique de 1 mètre de puissance et très-nettement séparé des schistes encaissants. En quelques points de ces veines, le quartz est assez abondant comme gangue.

A côté des veines précédentes, nous distinguons deux ramifications assez importantes de baryte sulfatée dirigées de l'E. à l'O., et visiblement sous les eaux du *Tarn.* Peut-être est-ce là le prolongement du groupe de *Roussouneine;* mais les indices sont trop rares entre ces deux points pour qu'on puisse discuter cette liaison.

Pour terminer ce que nous avons à dire des gîtes de la concession de Bedouès et Cocurès, poursuivons vers l'E.; nous retrouverons à *Mirales* et à Rampon, le prolongement de la bande E.-O. qui comprend tous les filons dont nous venons de nous occuper. Filons de Mirales et Rampon.

Un peu avant d'arriver à *Mirales*, à l'O. de ce château, la route de *Florac* à *Pont-de-Montvert* a mis à nu un affleurement E.-O., un peu N.-O., qui traverse le *Tarn* vers l'E., mais qu'on n'a pas exploré. Nous n'avons

rien trouvé en minerai à l'affleurement, ou nous n'avons vu que du sulfate de baryte.

A cinq minutes de *Mirales*, sont deux ou trois affleurements N.-O.-S.-E., au milieu d'un granite schistoïde à gros grains, pas bien loin de la limite du granite et des schistes. Le plus puissant et le mieux marqué offre une veine de galène de $0^m,05$ à $0^m,10$ de puissance, avec quartz et gneiss. Il est très-difficile de juger de l'allure du filon peu distinct de la roche encaissante. Les autres affleurements ne paraissent pas riches en galène; ce sont plutôt des veinules de quartz avec schistes et pyrites paraissant arsenicales. Tous ces affleurements sont coupés par la route de *Florac* à *Pont-de-Montvert* et se prolongent au S.-E. de l'autre côté du ravin.

Si de *Mirales* nous gagnons, par le *Vernède*, *Rampon* et le ravin de *Rampouneine*, nous allons nous retrouver vraisemblablement sur le prolongement de la bande E.-O. étudiée plus haut aux environs de Bedouès et de Cocurès, mais nous sortons de la concession de ce nom. Les vallats de la *Tuile* et du *Rampouneine* sont à la limite du granite et des schistes micacés. Ceux-ci s'étendent à l'E. vers *Mirales*, *Bédouès*, *Cocurès* et *Florac*, et le granite se poursuit à l'E. vers *Grisac*, *Ruas*, *Runes*, *Fraissinet* et le *Pont-de-Monvert*. Le long du vallat de la *Tuile*, nous trouvons, à la limite précise de ces deux roches, un énorme filon quartzo-barytique avec galène bleue à grandes facettes cristallisées; l'affleurement est dirigé exactement du N.-O. au S.-E. Chargé d'oxyde de fer à la surface, il marque aussi de la pyrite en quelques points. Aucune exploration n'a été faite sur ce gisement, à part quelques fouilles exécutées par des paysans, qui en vendaient le produit comme alquifoux. La puissance de ce filon atteint souvent 2 à 3 mètres, et il paraît plonger à l'E.

Dans les ramifications les plus élevées du ravin de la *uile* vers le S., on retrouve très-près de la limite des chistes et du granite trois ou quatre affleurements, qui ppellent ceux de *Roussouneine* et *de la descente*, par ur direction et leur composition. On nous y annonçait anciennes fouilles, mais elles ont dû être depuis long-mps obstruées et comblées par les crues qui inondent uvent ces ravins.

Enfin, à l'E. de *Rampon*, on nous dit avoir rencontré uelques indices d'affleurements de même nature, aux virons de Grisac; nous ne les avons pas vus.

Nous bornant à ce qui précède, nous nous résume-ons sur la disposition générale de tous ces gîtes. Malgré s nombreuses ramifications qui, à la surface, compli-uent cet ensemble, il est impossible de ne pas recon-aître que les affleurements les mieux caractérisés se rigent en moyenne sur l'E.-O., un peu N.-O., et que us, en s'infléchissant plus ou moins à droite et à uche de cette ligne, se rattachent à un seul et ême système de fractures nettement tracé du quartier *Rampon* et *Grisac* à celui de la *Baume*. Si nous ouvons ce faisceau interrompu ou dérangé en quel-ues points, cela tient aux irrégularités mêmes de la gne de séparation du granite et des schistes, aux ointes de granite qui partent des massifs primordiaux, ansversalement à la direction précédente, résultats évitables de la superposition des accidents géologi-ues, qui ont successivement modifié le relief de cette ntrée.

Nous allons voir bientôt que cette bande de filons de lomb argentifère peut bien n'être que le prolongement 'un ensemble de filons de même nature, qu'on connaît *Vialas* sous le nom de filons du N. et du S.

Filons éparpillés entre la concession de Bédouès et Cocurès et le Pont-de-Montvert.

Avant d'arriver à la concession de Vialas, citons ici quelques gisements disséminés aux environs de Ruas et de Runes, à la séparation des gneiss et micaschistes, et du massif granitique qui s'étend de là à Pont-de-Montvert et à Vialas.

Ce sont des filons de galène alquifoux, paraissant rarement argentifère et qui n'ont rien de constant dans l'allure. Ordinairement composés de pyrites, galène et quartz, ces veinules se voient le long des ruisseaux qui descendent de Ruas et Runes, à travers un granite à petits grains passant souvent au gneiss.

Si l'on peut dire quelque chose de général sur leur allure, c'est que la direction dominante de ces filets est le N.-O., S.-E. Nous renvoyons à l'étude des gîtes d'alquifoux ce que nous aurions à dire de plus à ce sujet.

***Concession de Vialas* (1).**

Tous les filons, sur lesquels est ouverte l'exploitation de Vialas, sont compris entre les deux bandes dites *filon du nord* et *filon du sud*. Ces deux affleurements, parallèles à la direction E.-O., quelques degrés N.-O., comprennent entre eux une largeur de 1.200 à 1.400 mètres, sillonnée par les filons ou veines métallifères du *Bosviel*, des *Avesnes*, des *Anciens*, du *Bois-de-Petit*, de *l'Espérance*, etc., etc.

Filon du Nord.

La crête de ce filon suit la rive droite du Luech depuis les hameaux de *Souteiranes* et du *Chaufez* jusqu'auprès de Chanteperdrix ; puis de là se continue encore jusqu'aux environs de *Masméjean*, la *Rouvière*, au delà de *Saint-Maurice* : toujours très-visible sur tout ce parcours, sous la forme de crêtes quartzeuses

(1) Nous ne nous occupons ici que des filons compris dans la bande E.-O. qui fait l'objet de ce chapitre; bientôt dans la région de Villefort à Mende, nous parlerons des autres filons de ladite concession.

avec un peu de baryte sulfatée, il côtoie ou forme la limite des schistes et du granite ; sa roche de remplissage *devient souvent feldspathique*, comme auprès de *Chauffez* et de *Chanteperdrix ;* sur ce dernier point, notamment, la crête paraît composée d'un granite très-feldspathique à très-petits grains, dans la masse duquel sont de nombreuses mouches ou veines de galène argentifère ; on en a même extrait plusieurs quintaux de minerai à l'origine de l'exploitation de Vialas.

En suivant l'affleurement sur l'espace indiqué plus haut, on le voit souvent divisé en plusieurs autres ; ainsi on compte dans la partie à l'est des usines de Vialas trois ou quatre branches dites d'accompagnement du grand filon du nord, et qui toutes se détachent sous de très-petits angles du tronc principal, puissant de 7, 8 ou 10 mètres. Ces branches s'écartent toutes vers le S.-E., et, pas plus que la veine principale, aucune en cette partie ne présente de minerai.

A Chanteperdrix, ce paraît être sur une semblable veine détachée qu'une ancienne exploration a donné d'assez beau minerai.

A partir de ce point, le filon du nord s'infléchit un peu, va passer au réservoir du moulin, se sépare encore en deux affleurements d'une puissance considérable, et qui courent parallèlement : là, ces nouvelles branches sont stériles. Au delà de Tourière, elles se rapprochent, et enfin, au lieu dit le Malfrézès, le filon du nord n'apparaît plus que sous la forme d'une seule veine très-puissante de baryte sulfatée ; une partie est rubanée de quartz avec galène à grandes facettes bleues et cristallines ; il y a aussi grande abondance de pyrite.

C'est sur ce dernier point qu'ont été dirigées des recherches en 1825 et 1826 et même avant ; les apparences étaient très-bonnes ; mais les ressources de la

compagnie ne permettaient pas alors une exploration sérieuse. L'éloignement de ce point du centre de l'exploitation fut peut-être aussi une cause d'abandon de ces premiers travaux.

On avait encore, à peu près, à la même époque entrepris l'exploration de deux ou trois veines détachées au Chauffez, mais sans succès.

En résumé, cet énorme filon du nord paraît assez généralement stérile : ses crêtes de quartz sauvage n'offrent presque jamais d'indices minéraux. En quelques points seulement, les apparences deviennent plus satisfaisantes, mais c'est presque toujours à la rencontre de veines latérales analogues à celles dont nous parlerons plus bas.

Remarquons encore que des veinules de galène se sont montrées, vers l'est, dans des filons de feldspath compacte, partant du granite porphyroïque et paraissant se relier aux crêtes quartzeuses.

Filon du sud. Comme le premier, ce filon est connu sur une très-grande étendue, avec une puissance toujours considérable. Plus éloigné du massif granitique, il affleure toujours au milieu des micaschistes. On le suit très-aisément depuis les environs de *Figeirolles* jusqu'auprès des hameaux du *Villaret* et du *Massufret*.

Même direction et mêmes accidents que sur le filon du nord ; la plongée est au sud comme pour celui-ci ; mais elle est très-forte et ces filons sont souvent verticaux.

Les apparences sur plusieurs points sont de beaucoup meilleures qu'à l'affleurement du nord.

Une première attaque a été faite anciennement dans les propriétés du *Massufret*. Par une galerie et un puits, on a retiré de la galène argentifère avec pyrites, quartz et sulfate de baryte ; la puissance totale était

à de 6 à 7 mètres, et le minerai resté sur les haldes est de belle apparence. A peu près en même temps, on attaquait au Villaret, et on retirait, de cette seconde fouille, quatre à cinq tombereaux d'assez bon minerai le bocard. Tous ces travaux paraissent avoir été abandonnés par défaut de ressources à l'époque.

Un dernier point où les apparences sont très-belles sur le filon du sud, c'est auprès du pic de l'Espinasse, quartier dit de la Grand'-Croix. La crête du filon est à puissante de 20 à 25 mètres et semble très-minérarisée; on y a même, en 1828, pratiqué quelques fouilles sans suite qui ont donné de très-beau minerai.

En parcourant maintenant de l'O. à l'E. la bande de micaschistes comprise entre les deux lignes du N. et du S., nous allons trouver les affleurements de toutes les veines, sur lesquelles est concentrée l'exploitation de Vialas depuis la fin du siècle dernier.

En partant du *Villaret*, le long du filon du sud, nous voyons sur la gauche un premier affleurement dirigé du S.-O. au N.-E. : c'est le *Filon Lorrain*. Il est assez difficile à suivre aujourd'hui; cependant on le voit transversalement au ravin de la *Picadière*, sur le bord duquel ont été foncés d'anciens travaux d'exploration. Filon Lorrain.

Le minerai se composait de galène argentifère avec quartz, schistes et baryte. On a perdu la veine minérale au fond d'un puits peu profond et on abandonna, après avoir retiré vingt-cinq à trente tombereaux de minerai.

Sur le flanc sud du même ravin de la *Picadière*, en face du village de *Castagniols*, affleurent les veines dites de la *Picadière*, de la *Fève*, *Sainte-Barbe*, des *Avesnes*, suivant qu'on les prend aux divers points de leur longueur. Filons des Avesnes.

On distingue assez nettement trois veines parallèles

dirigées E.-N.-E.-O.-S.-O. avec une plongée très-forte du N. au S. Peu puissantes à l'affleurement, elles s'élargissent en profondeur, comme nous le montreront plus tard les travaux intérieurs.

Elles se poursuivent à peu près parallèlement au ravin de la Picadière, jusqu'au delà du ravin des *Combes*, et vont butter contre une autre ligne d'affleurements, sur la montage du *Bosviel*.

Sur tout ce parcours, les trois affleurements sont peu distincts des micaschistes encaissants; à part quelques veines quartzeuses, des schistes brisés et ocreux, quelques filets barytiques avec mouches de galène (surtout dans la partie ouest), nous ne trouvons pas à la surface d'indices bien marqués; peu de crêtes et beaucoup de difficultés pour suivre ces filons. Ils ont pourtant été les premiers découverts et exploités par la compagnie de Vialas, grâce à des nids de galène très-argentifère qui s'y trouvaient à la surface, dans le quartier de la Picadière.

Filon des Combes.

Dans le ravin de ce nom, plus haut que le point où les veines précédentes coupent le ruisseau, on a exploré, par un petit puits et une galerie, une veine en tout semblable à celles-là; on y a trouvé d'assez beau minerai. Jusqu'ici on n'a pas retrouvé cette branche dans les travaux intérieurs.

Filon du Bois-de-Petit.

A la naissance du ravin des Combes, et sur sa gauche, se trouve l'affleurement dit du *Bois-de-Petit*. Dirigé comme le filon Lorrain, c'est-à-dire du S.-S.-O. au N.-N.-E., il plonge vers le S.-E.-E. Composé d'ailleurs comme les Avesnes, il ne marque rien à la surface; à peine distingue-t-on dans les croûtes ocreuses qui le recouvrent quelques rares indices pyriteux. Il paraît couper les veines précédentes sous un angle très-considérable.

Filon des Anciens.

A l'est du Bois-de-Petit affleure le filon des Anciens, dont la direction générale E.-O. est sensiblement celle des grands filons du nord et du sud. Mais ce nouvel affleurement est loin de suivre une ligne droite, et les travaux intérieurs montrent, comme les indices de la surface, que le filon des Anciens est très-accidenté entre le Bois-de-Petit et un autre dit *Le Bosviel*, qui affleure au sommet de la montagne de même nom. La puissance des Anciens est beaucoup plus grande que celle de toutes les veines précédentes; la nature du remplissage est également différente. Ainsi, à l'endroit dit à Vialas le *Point O*, on voit une crête quartzobarytique de 2 à 3 mètres de puissance. C'est évidemment là un croisement de veines, car on voit la susdite crête buter contre un premier filon parallèle à celui du Bosviel. Après ce croisement, elle se poursuit vers l'affleurement du *Bosviel* en s'infléchissant sur le S.-E., et avant de rejoindre celui-ci, elle se réunit aux *Avesnes* sous un angle assez faible.

A l'ouest du *Point O*, les Anciens se replient vers l'O.-S.-O., se dirigent alors parallèlement aux Avesnes et viennent enfin recouper le Bois-de-Petit, ou au moins buter contre lui. Au delà de ce dernier, on ne retrouve que des indices incertains du prolongement des Anciens. Ainsi, assez loin à l'ouest, près du ravin de *La Fève*, on voit bien une veine barytique, stérile, dirigée comme les Anciens, qui se perd à l'ouest sous la montagne de *Castagnols*, et à l'est paraît aller couper le Bois-de-Petit. Mais toutes ces rencontres sont difficiles à bien constater à la surface.

Les Anciens constituent un très-beau filon, comme l'ont démontré les travaux intérieurs; mais il présente des exemples nombreux des brouillages ordinaires dans

les gîtes en filons. Le filon qui suit en offre de pareils, à sa rencontre avec les précédents.

Filon de Bosviel.

Le filon du *Bosviel*, dans sa partie N.-N.-E., court à travers les schistes, sous forme d'une crête unique de quartz ocreux et pyriteux. Cette régularité disparaît quand il s'approche du prolongement Est des Anciens et des Avesnes, non loin de la rencontre même de ceux-ci. Là, il paraît se diviser en deux branches de même nature et de même direction (N.-N.-E.-S.-S.-O.). Dans la partie S.-O. qui court jusqu'au filon du sud, ces deux branches sont très-rapprochées et sont visibles sur beaucoup de points. La première est évidemment la continuation de la partie N.-N.-E. exploitée comme *filon du Bosviel*. Quant à la seconde, on ne voit pas sa jonction avec la précédente. Comme d'un autre côté, au delà des Avesnes et des Anciens (au nord), au delà même du *Point O*, on retrouve un affleurement de même nature dirigé à peu près N.-S., il nous paraît plus probable que ce dernier serait le prolongement de la seconde branche dont il vient d'être question, et qui aurait été déviée par sa rencontre avec les Anciens et avec les Avesnes, aux environs du *Point O*. Les travaux intérieurs prouveront plus tard que cette hypothèse est assez vraisemblable.

Le Bosviel, comme les Avesnes et les Anciens, plonge en sens contraire de la montagne. Tous ont fourni une exploitation longue et avantageuse, comme nous le verrons par la suite.

Prolongements des Avesnes et des Anciens au delà du Bosviel.

Au delà du Bosviel, les importants filons des Anciens et des Avesnes semblent bien se prolonger, mais d'une manière un peu indécise. Il y a non-seulement des traces d'affleurement, mais encore des indices d'anciennes fouilles. Cependant, avant d'entreprendre aucun travail important en profondeur, quelques essais

devraient être faits à la surface pour dénuder les affleurements et mieux juger de l'allure de ces prolongements.

Tout ce que nous venons de dire de Vialas suffit actuellement comme étude de surface, et nous permettra d'étudier facilement plus tard, les travaux intérieurs et de mieux grouper tous ces filons. Nous reviendrons alors sur la disposition générale de ces gîtes.

Pour le moment, ajoutons quelques mots sur quelques filons qui semblent sortir de la zone comprise entre ceux du nord et du sud.

Filons du Clot.

Situés près d'un col qui sépare les ravins de *Solegrols* et de la *Picadière*, ils affleurent très-près du grand filon du sud, qu'ils viennent rencontrer sous une très-faible inclinaison et sans le traverser. Tous ces caractères tendent à nous faire supposer que ce ne sont là que des ramifications comme on en voit tant le long des filons du nord et du sud. Une dernière raison de penser ainsi, c'est que les travaux entrepris sur les filons du Clot l'ont été tout près de leur rencontre avec celui du sud, et qu'ils paraissent assez riches en ce point. Peut-être aussi sont-ce des veines analogues à celles des Avesnes et leur prolongement un peu dévié par leur rencontre avec le filon du sud. C'est un des points qu'il serait le plus intéressant d'explorer, à cause des nombreux indices minéraux qu'on y remarque.

Filons des bords du Luech, entre Chamborigaud et Peyremale (Gard)

La bande des filons du nord et du sud se prolonge sans doute vers l'est, mais les affleurements ne sont pas toujours visibles entre Vialas et Chamborigaud. Pour retrouver quelques indices satisfaisants, il faut aller à l'est de ce dernier bourg, à peu près à mi-distance de Peyremale. Là nous trouvons des affleurements quartzobarytiques avec galène argentifère de même direction que les filons du nord et du sud. Au-

près du hameau de *Chambon*, on trouve quatre ou cinq filons, tous de même nature, paraissant se relier les uns aux autres, et ne former encore ici qu'un seul et même faisceau orienté sur l'E.-O., un peu N.-O. Les veines principales sont rattachées entre elles par une multitude de petits filets barytiques, avec galène et pyrites qui serpentent dans le micaschiste. L'ensemble général rappelle ce que nous avons observé aux environs de Vialas, de Cocurès et Bédouès.

Partout on trouve, dans ces veines, de la galène argentifère en abondance. Parmi les fouilles entreprises récemment sur ce point, nous citerons celle qui a été ouverte dans un pré à gauche du chemin qui va du Luech au Chambon : elle consiste en un puits peu profond, mais que les eaux du Luech ont gêné ; on en a extrait de très-beau minerai.

Les affleurements plus élevés, au nord du Chambon, offrent de moins belles apparences; mais ils seront d'une exploration plus facile.

Un dernier affleurement se voit sur la rive droite du Luech, au nord de Mercoire. Il traverse sur O.-N.-O. un ravin qui aboutit au Luech, non loin de Chéreneuve. Exploré anciennement par la compagnie de Villefort et Vialas, il ne semble pas avoir été bien productif.

4° Gîtes compris entre Villefort et Mende. — Pente nord de la Lozère.

A cette dernière zone appartiennent les gisements de galène argentifère sur lesquels furent d'abord dirigées les recherches des concessionnaires de Vialas et Villefort. Cette zone borde vers le nord, le massif granitique de la Lozère, comme celle de Vialas le borde vers le sud. Aux environs de Villefort surtout, où les affleurements sont les plus nombreux et les mieux caractérisés, nous les voyons distribués le long de la limite des schistes et du granite, toujours sous forme de puissantes crêtes quartzeuses ou quartzobarytiques moyen-

nement dirigées sur heure 7 de la boussole, ou O. un peu N.-O. En général aussi des filons presque verticaux, c'est-à-dire tous les principaux caractères signalés à Vialas, au sud des grands *Dickes* quartzeux du nord et du sud.

Pour ne nous occuper que des filons de galène argentifère si nombreux dans cette zone, nous citerons ceux :

De *Mazimbert*, de *Bayard* et *Saint-Loup*, de *La Garde*, *Peyrelade*, auprès de Villefort ; du *Tournel*, près de Saint-Julien et Bagnols ; de *Bahours*, près de Mende.

Filon de Mazimbert.

Les deux affleurements de Mazimbert font partie d'un seul et même filon qui se divise à la surface, sur certains points seulement, comme auprès de la métairie de Mazimbert ; sur ses prolongements est et ouest, à partir de là, on ne voit souvent qu'une seule crête.

A l'ouest, ce filon passe au-dessus du hameau des *Gueldes*, traverse la montagne de Saint-Loup.

A l'est, il disparaît sous les grès des *Balmelles*, mais ressort au jour au-dessous du village et dans le ravin de même nom.

La puissance de cet affleurement, presque toujours vertical, atteint souvent 15 et 20 mètres. Encaissé par les schistes à l'est et à l'ouest, il fait auprès de la métairie la limite même du granite et des schistes.

Le remplissage est surtout quartzeux ; près des anciennes fouilles, on voit cependant une veine éminemment barytique. Les apparences minérales sont fort rares à la surface.

Les travaux d'exploration ou d'exploitation ont été abandonnés en 1781 ; ils étaient concentrés dans la région Mazimbert ; on y avait découvert plusieurs veines

minérales : deux surtout, l'une quartzeuse et l'autre barytique, avec minerai de galène très-argentifère, mais peu abondant.

Ce gîte, par les caractères généraux de son allure, se rapproche singulièrement des énormes filons du nord et du sud à Vialas.

Filons de Bayard et Saint-Loup.

Au N.-N.-O. de Villefort, entre *Bayard* et *Morangiès*, on a anciennement attaqué deux ou trois veines de quartz et sulfate de baryte dirigées E.-O. ou N.-O.-S.-E. En général, la galène qu'on en a retiré était pauvre en argent. Ces filons se prolongent au nord de Saint-Loup, jusque dans la gorge de *Ranchine*; encaissés par le granite, ils sont assez réguliers, mais ils n'ont jamais donné de bons résultats à la compagnie de Villefort.

Nous en dirons autant de quelques autres affleurements plus ou moins explorés dans les environs de *La Garde*, de *Planchamp*, du *Château-du-Roure*. Beaucoup de veines signalées sur ces points paraissent d'ailleurs ne donner que de l'alquifoux. Leur direction ordinaire se rapproche du N.-O., et toutes ont pour gangues, quartz et sulfate de baryte.

Gensanne, qui a dirigé la plupart des fouilles entreprises sur tous ces gîtes, à l'origine de l'exploitation de Villefort et Vialas, résume très-bien leur allure et leur richesse par ces mots :

« Les mines des environs de Villefort sont très-» captieuses; elles ne donnent qu'en bouillons, séparés » par des intervalles de pierre cornée fort dure. »

On pourrait cependant, en examinant bien les résultats des travaux intérieurs, trouver ce jugement un peu trop absolu pour le gîte de Mazimbert, et surtout pour celui de Peyrelade.

Filons de Peyrelade.

L'ancienne mine de Peyrelade est située près du point où le ruisseau des Balmelles jette ses eaux dans le *Chassézac*, non loin des hameaux des *Aydons* et du *Péchadou*. Là les schistes forment une espèce d'éventail qui recouvre le granite depuis Mazimbert jusqu'à Planchamp. C'est encore à la limite même des schistes et du granite, que se trouvent les filons de Peyrelade. Au nombre de huit ou neuf, tous ces affleurements sont composés de quartz et sulfate de baryte, avec fréquentes apparences de galène en veines déjà très-exploitables à la surface. La direction de toutes ces veines oscille entre l'E.-O. et le (O. 25° S. — E. 25° N.). Très-rapprochées, elles plongent en sens contraires, ce qui permet de supposer qu'elles appartiennent à un seul faisceau. Seulement, le voisinage du granite, les nombreux filons de roches euritiques, de quartz sauvage, qui découpent les schistes encaissants sur ce point, sont autant de causes de perturbation dans la direction et dans l'allure de ce faisceau.

Dans la partie la plus élevée, c'est-à-dire à proximité du chemin de Villefort aux Aydons, les veines sont les plus puissantes et les plus régulières; leur épaisseur atteint souvent $0^m,50$ à 1^m.

Les travaux entrepris sur ces gîtes ont toujours donné du minerai très-argentifère et quartzobarytique. Malheureusement, ils sont très-éloignés du centre de l'exploitation actuelle.

Vers l'est, c'est-à-dire dans l'Ardèche, on connaît au delà des Aydons quelques veines qui pourraient se rattacher aux veines précédentes.

A l'ouest, nous avons cherché, mais vainement, des indices qui nous permissent de relier Peyrelade à Mazimbert. Les seules traces du prolongement de ce dernier se retrouvent au haut du ravin des *Balmelles*;

c'est-à-dire un peu au sud des filons de Peyrelade (1).

Filons du Tournel, près Bagnols-les-Bains.

A l'entrée est du tunnel par lequel la route de *Villefort à Mende* passe sous le village et sous le château du Tournel, cette route coupe un affleurement barytique à peu près exactement N.-O. On le suit assez loin vers le N.-O., mais au S.-E. il se perd sous les prés au bord du Lot.

Cet affleurement paraît stérile, à peine pyriteux, et n'a jamais été attaqué.

A la sortie du tunnel, vers l'ouest, un second affleurement a été exploré, déjà même au moment des courses de Gensanne dans le Gévaudan.

Dirigé comme le premier, il coupe la route, sous forme d'une crête barytique stérile, non loin de la barraque du cantonnier. Il monte à l'ouest sur le flanc de la montagne, mais sans devenir plus riche. A l'est, au contraire, il paraît mieux minéralisé au milieu des eaux du Lot, près d'un ancien moulin. Il est là divisé en plusieurs filets marquant tous de la galène argentifère avec *sulfate de baryte*, *quartz* et *spath fluor violet*. Les fouilles entreprises anciennement sont peu considérables; cela tient vraisemblablement à l'éloignement de ce gîte de tout centre d'exploitation,

Peut-être les deux filons dont nous venons de parler se prolongent-ils vers l'ouest, et se relient-ils avec des crêtes de nature analogue qu'on aperçoit dans les ravins de la *Bessière* et du *Villaret*. Nous n'avons pas assez de faits pour l'affirmer. Nous aurons l'occasion de reparler de ces derniers, quand nous traiterons des gisements d'alquifoux.

Filons de Babours.

Près du hameau de Bahours, à 6 kilomètres à l'ouest

(1) Tous les gîtes dont nous venons de parler font partie de la concession de Vialas et Villefort.

de Mende, sont plusieurs filons de galène argentifère, sur lesquels ont été anciennement pratiqués des travaux d'exploitation.

Le filon le plus rapproché de Bahours, qui affleure au fond d'un ravin où coule le *Ginest*, à la limite des calcaires et des schistes, est dirigé de l'E.-S.-E. à l'O.-N.-O. Son prolongement E. paraît se perdre sous les calcaires du lias. Essentiellement barytique, il est peu puissant et tient peu de minerai; aussi les anciens travaux y sont-ils peu développés.

Plus au nord, le long du ruisseau du Ginest, on voit de fréquentes cassures dans les schistes et de nombreuses fissures barytiques sans suite et sans minerai apparent.

Au point où le ruisseau se divise en deux branches, on rencontre le principal filon, celui sur lequel s'est concentrée l'ancienne exploitation. L'affleurement se continue sur une grande étendue; d'abord sur la rive gauche du ruisseau et ensuite sur sa branche ouest. Sur la rive gauche, la puissance est de $0^{m},50$ à 1 mètre. Là se trouvent des haldes considérables, à l'entrée de plusieurs galeries et puits.

A l'ouest, pendant 60 ou 80 mètres, l'affleurement court tantôt en une seule branche, tantôt en plusieurs veines parallèles, sous les eaux mêmes du ruisseau et au milieu des schistes.

Le minerai est soit de la galène pure à grains gros moyens ou cristallins, soit de la galène avec pyrites de fer et un peu de cuivre ou de blende, le tout sur une gangue de quartz et sulfate de baryte.

Gîtes de galène argentifère situés à l'extrémité S.-E. du département de la Lozère.

Pour terminer l'étude des gîtes de galène argentifère, nous citerons des filons placés à la limite du Gard et de la Lozère, entre *Saint-Étienne-Vallée-Française* et *Saint Jean-du-Gard.*

A la limite du granite et des schistes, ceux-ci sont aux environs de *Falguières* veinulés de filets quartzo-feldspathiques avec galène, mais peu abondante.

Dans le vallat de *Fielgoux*, plus au nord en remontant le Gardon de Mialet, on a exploré récemment des filons quartzeux ou barytiques, qui ont donné d'assez beau minerai. Ils courent au milieu des schistes en nombreuses veinules d'une direction moyenne E.-O.

§ II. *Gîtes plombo-cuivreux.*

Tous les filons décrits dans la section qui précède, ne renferment guère que de la galène argentifère. A peine sur quelques-uns, soit à la surface, soit dans les travaux intérieurs, avons-nous trouvé quelques rares mouches de cuivre pyriteux. Il en est autrement de ceux dont nous allons parler ; ils renferment à la fois cuivre pyriteux et galène et souvent en très-grande abondance. Les environs de Meyrueis surtout sont riches en gîtes de cette nature. Nous citerons les filons de *Gatuzières*, de *Campise* et *Campredon*, de *Férusseac* et de *Rousses*.

Filons de Gatuzières.

Au nord du village de *Gatuzières*, dans les marnes et calcaires du lias, apparaît un affleurement dirigé du N.-O. au S.-E. à peu près exactement : d'une puissance variable de 3, 4 et 10 mètres, il indique un filon à peu près vertical ou plongeant légèrement vers le N.-E.

Des hauteurs qui dominent Galuzières jusqu'à la route de *Meyrueis* à *Florac*, ce filon coupe les assises calcaires du lias en se ramifiant souvent. Près de cette route, dans le ravin de Malbosc, il passe des terrains secondaires dans les schistes ; là il se divise encore en plusieurs branches qui se continuent plus ou moins visibles, vers les environs du village de Cabrillac.

A l'ouest de Gatuzières, l'affleurement disparaît sous les assises calcaires de l'oolite inférieure.

Étudions successivement les caractères de ce filon dans sa partie ouest, c'est-à-dire dans le lias, puis dans les schistes, au S.-E.

Dans les calcaires, la crête se compose surtout de baryte sulfaté et de quartz, la première empâtant des fragments de calcaires, détachés des couches voisines, et toujours profondément métamorphisés, jaspés et d'un gris très-foncé. Au point dit *Attaque de la Cascade*, on voit deux branches parallèles, dont la première a $1^{m},50$ à 2 mètres, et l'autre (celle du sud) 8 à 9 mètres de puissance. Le quartz court en bandes irrégulières, grossièrement parallèles à celles de baryte sulfaté ; c'est le plus souvent au milieu de ce quartz, qu'on aperçoit le minerai presque partout composé de pyrite cuivreuse, fréquemment altérée, transformée en carbonates bleus et verts, de quelques mouches de galène cristalline à gros grains bleuâtres avec traces de cuivre gris et de blende.

Cette division du gîte en plusieurs branches est à peu près générale ; on l'observe sur tout le parcours de l'affleurement. De plus, dans tout ce quartier, les calcaires sont sillonnés de petits filets barytiques dirigés exactement comme le faisceau principal : on n'y remarque, comme indices minéraux, que quelques taches de carbonates de cuivre bleu ou vert.

Aux environs de cet énorme filon, les calcaires semblent puissamment métamorphisés et minéralisés ; en plusieurs points, ils sont d'une teinte plus foncée, ils paraissent durcis, siliceux et sont imprégnés de pyrite de cuivre avec carbonates du même métal. Aux approches du filon, toujours au même niveau géologique, on trouve surtout deux ou trois couches riches en pareil

minerai : des fouilles entreprises sur ces couches ont montré que le minerai y forme des lentilles de 25 à 60 centimètres d'épaisseur, d'une exploitation facile et très-avantageuse.

D'ailleurs, quoique l'affleurement soit sur la rive droite de la Jonte et qu'on ne trouve aucun autre filon bien accusé sur la rive gauche, les calcaires et grès qui, de ce côté, recouvrent les schistes, sont encore souvent minéralisés; ils sont aussi sillonnés de petits filets barytiques avec taches de carbonates de cuivre.

Ce vaste filon se perd donc sous les calcaires oolitiques qui s'étendent de la *Cascade* à l'ouest vers *Frépestel* et les *Aures*. Mais, pour terminer ce qui est relatif à sa partie ouest, nous mentionnerons un affleurement au-dessus du hameau de la *Bragouse*, qui s'y rattache vraisemblablement. Il court sur une épaisseur de 1 mètre à $1^{m},50$, à travers les calcaires du lias, de l'est à l'O.-N.-O., de manière à aller rencontrer le premier, sous un angle de quelques degrés, un peu au-dessous de la cascade. Cet affleurement est composé de baryte sulfatée au milieu de laquelle serpentent des veines épaisses de galène alquifoux. Sur le chemin de Salvinsac, aux *Aures* et à *Frépestel*, des paysans ont retiré de très-beaux échantillons de ce dernier minerai.

Reprenons maintenant le filon principal dans son prolongement S.-E., au ravin de *Malbose* à *Plambelle*. A dix minutes au S.-O. de Malbosc, au fond comme sur le flanc E. de ce ravin, on distingue un premier prolongement sous forme d'une crête quartzo-schisteuse très-puissante. Cette crête ne présente pas trace de minerai, quoique très-ocreuse en plusieurs points. Elle se poursuit très-visiblement avec la même puissance, mais aussi avec la même stérilité, vers le S.-E., jusqu'au sommet de la montagne. Au N. et au S. de

cette ligne se montrent les deux autres affleurements annoncés tout à l'heure. Celui du N., le plus voisin de Malbosc, n'est pas visible près du ravin, mais sur sa direction sont alignés plusieurs tas de déblais provenant d'anciennes attaques; les fragments dont se composent ces tas, renferment de la baryte, du quartz et des schistes : la première de ces gangues est souvent imprégnée de galène cristalline bleuâtre avec mouches de carbonates de cuivre.

L'affleurement du sud n'est pas non plus très-visible, mais au milieu du bois de hêtre qui monte jusqu'à la crête de la montagne, nous voyons parmi les blocs de grès tombés de cette crête, une ligne N.-O. S.-E. ravinée par les eaux et des fragments de sulfate de baryte avec galène et cuivre carbonaté, le tout ordinairement très-ocreux.

Il est probable que ce sont là les trois filons de *Malbosc* dont parle Gensanne en disant que « *Celui du milieu parait stérile.* »

Vers le S.-E., au sommet de la montagne, nous sommes sur les grès du trias qui se continuent dans la direction de *Cabrillac*, jusqu'à l'E. du hameau des *Jontanels*. Dans toute cette étendue, les terres cultivées dissimulent les affleurements; mais leur existence, dans cette région, est prouvée par de nombreux blocs détachés de quartz ocreux et de sulfate de baryte; en marchant vers le *Bois des Fons*, on retrouve même deux ou trois crevasses ravinées avec pierres détachées de même nature. Enfin dans les schistes qui s'étendent depuis les hauteurs des *Jontanels* jusqu'auprès de *Cabrillac*, nous avons aussi çà et là, sur la même ligne, trouvé quelques roches de filons et des indices à peu près certains de l'existence du gîte dans cette contrée.

Les affleurements de Gatuzières, qui appartiennent

évidemment à un seul filon, se poursuivent donc sur une étendue de 6 à 8 kilomètres. Ils changent de composition et d'allure en passant d'un terrain dans un autre; c'est un fait déjà signalé plusieurs fois dans ce qui précède. Nous parlerons plus tard des fouilles qui ont déjà été faites sur ce gîte et des ressources que promet ce vaste ensemble.

Filon de Malbosc. Au N.-N.-O. et à six ou huit minutes du hameau de Malbosc, dans un ravin qui monte au N.-O. vers la route de *Florac* à *Meyrueis*, nous avons découvert un affleurement barytique N. 30 à 40° O. avec *chapeau de fer* très-épais. Il est dirigé comme le ravin dont il occupe le fond. La roche encaissante est là du grès ou du calcaire siliceux (trias). La roche composante renferme surtout de la baryte, puis du quartz, du calcaire, des oxydes et pyrite de fer avec nombreuses altérations cuivreuses. La séparation du gîte et du terrain encaissant est confuse en ce point et il est difficile de juger de la puissance; mais un peu plus au N.-O., l'affleurement est plus régulier. Il coupe toute la formation du lias, et il va encore se perdre sous les calcaires de l'oolite inférieure, à l'ouest de la route et à dix minutes S.-S.-O. du Perjuret. Dans cette partie, mieux réglée, l'affleurement est encore composé de baryte, quartz, avec mouches cuivreuses.

Nous n'avons pas suivi cet affleurement vers le S.-E., mais il est très-probable qu'il s'y prolonge comme celui de Gatuzières, auquel il ressemble tant, sauf la puissance.

Filons de Campredon et Campise. En décrivant les filons de galène argentifère, nous avons vu que le gîte de Ribevénès consiste en plusieurs filons qui courent du S.-E. au N.-O., se poursuivent surtout très-régulièrement vers le S.-E., tandis qu'ils s'amincissent et se dispersent dans les calcaires au

N.-O. de Ribevénès. C'est dans le prolongement S.-E. de cette bande que sont les gîtes de Campredon et de Campise, non loin de la limite des schistes et du granite porphyroïde de l'Aigoual.

Quand du Brézé, au hameau de Campise, on monte vers le *col de Grailles*, on trouve à dix minutes au N.-E. de Campise, un ensemble de trois ou quatre crêtes affleurant toutes au milieu des schistes sur une direction N.-O. à peu près. Toutes sont quartzeuses, de puissance difficile à fixer, à cause des ravinements que les eaux creusent dans leurs intervalles et des nombreuses pierres détachées qu'elles y ont accumulées. Excepté l'affleurement le plus au N.-E., placé au coin du seul champ cultivé en cet endroit, aucune des crêtes ne marque de minerai; mais le premier, composé de quartz ocreux, carié ou cristallisé avec schistes empâtés, présente au mur un banc divisé en deux veines avec beaucoup de carbonate et de pyrite de cuivre. On y voit aussi une lentille de galène qui sur $0^{m},50$ de long a $0^{m},10$ d'épaisseur. La puissance totale de cette branche peut atteindre 2 à 3 mètres et elle plonge légèrement vers le sud comme les filons de Ribevénès. Mais il n'est pas possible de séparer cette crête de ses voisines; il ne faut évidemment voir encore là qu'un seul filon dont l'affleurement ne subsiste que par ses parties quartzeuses, seules capables de résister aux influences atmosphériques. D'un autre côté, si dans la direction de ces affleurements au N.-O., on arrive sur le sommet de la montagne qui sépare les vallats de Campise et de Campredon, on voit très-bien l'ensemble des crêtes quartzeuses précédentes se poursuivre de Campise à Ribevénès sur la direction moyenne O.-N.-O., en passant au nord du hameau de Porcairès. Cet ensemble comprend donc certainement les gîtes de

galène argentifère de Ribevénès (*Ravin de l'Escourgeade et col du Malpas*).

Sur la hauteur, entre Campise et Campredon, les affleurements sont stériles. Ils paraissent mieux minéralisés dans le ravin de Campredon ; des paysans prétendent même y avoir trouvé du minerai de cuivre; mais nous n'y avons rien vu.

Entre Campredon et Porcairès, cet ensemble se continue avec régularité, mais toujours aussi stérile, à peu près exclusivement composé de quartz à peine ocreux.

Après Porcairès, entre ce hameau et le quartier de l'Escourgeade, de Ribevénès et Rafègue, la ligne d'affleurements semble s'élargir et présente surtout deux puissantes crêtes, mais éloignées de 4 à 500 mètres l'une de l'autre. La première, celle du sud, saute le ruisseau du Brézé un peu à l'ouest de Porcairès; c'est à celle-là qu'appartiennent les filons explorés à l'Escourgeade, comme gîtes de galène argentifère. La seconde crête principale, celle du Nord, reste sur la rive droite du Brézé jusqu'au ravin du *Crouzet*, où elle coupe aussi ce ruisseau pour se continuer vraisemblablement au N.-O., en passant entre *Rafègue* et *Ribevénès* ; mais elle disparaît là sous des bois et des prairies. Sur cette portion de ce vaste ensemble, nous n'avons guère vu que des apparences fort légères de minéralisation, et c'est encore vis-à-vis le ravin de l'Escourgeade : ces apparences se bornent à un peu de sulfate de baryte, quelques rares mouches de galène avec blende et pyrites de fer.

Enfin dans cet élargissement de la zone plombocuprifère se trouve enclavé le gîte de galène du Malpertus. Il est probable même que les deux crêtes principales dont nous venons de parler sont, dans l'espace compris entre Ribevenès et le ravin de l'Escourgeade,

reliées par plus d'un filon secondaire, et qu'il s'est produit ici quelque chose d'analogue à ce que nous avons vu à Vialas, entre les deux énormes filons du nord et du sud.

Nous rappellerons encore au sujet du prolongement N.-O. de cette bande, qu'ici, comme à Gatuzières, les calcaires du lias sont sillonnés de filets barytiques avec mouches de carbonates de cuivre. C'est un rapprochement qui peut avoir son importance.

Filon de Férussac.

Dans le ravin qui, du Bétuzon, monte au S.-O. de Férussac, vers le bois de même nom, nous avons trouvé des blocs de quartz mi-cariés, mi-cristallisés en dodécaèdres, avec nœuds de galène et mouches de cuivre pyriteux, le tout formant un minerai d'assez belle apparence; mais nous n'avons pu le retrouver en place; il faudrait chercher vers la partie la plus élevée du ravin.

Filon de Rousses.

En suivant toujours le Bétuzon, jusqu'à un quart d'heure à l'est de Rousses, nous sommes sur le granite; dans le lit même du Bétuzon, nous trouvons un énorme filon de fer carbonaté, avec sulfate de baryte, pyrites de fer (de cuivre? et galène?). Mal réglé en ce point, il se dirige du S.-S.-E. au N.-N.-O. et sa puissance peut être de 2 à 3 mètres. Les circonstances ne nous ont pas permis de bien étudier ce gîte.

Filons plombo-cuivreux qui se trouvent sur les pentes de la Lozère.

Tous les gîtes d'alquifoux qui seront décrits plus loin, renferment plus ou moins de carbonate de cuivre, et ces gîtes eux-mêmes sont en relation avec des filons plombo-cuivreux de même nature que ceux que nous venons de voir auprès de Meyrueis; mais à cause de cette connexion des gisements d'alquifoux et des filons plombo-cuivreux du massif de la Lozère, la description de ceux-ci viendra plus bas.

§ III. *Filons de cuivre pyriteux.*

Les filons ne renfermant que du cuivre pyriteux sont assez rares dans le département de la Lozère ; nous n'en connaissons qu'un, celui autrefois exploité par la compagnie de Villefort et Vialas, à Fressinet près Villefort. Au contraire, dans le Gard, au pied des massifs granitiques qui le séparent de la Lozère, on trouve plusieurs gîtes d'une richesse remarquable : ces gîtes, de même que celui de Fressinet, ne tiennent sur la plus grande partie de leur étendue que du cuivre pyriteux ; cependant, par leur direction commune, par la constance de leurs allures et surtout par leurs liaisons avec certains gîtes plombeux qui semblent n'en être souvent que les prolongements ; par toutes ces raisons enfin, nous aurions pu faire rentrer les gîtes dans la section précédente ; mais les subdivisions ne peuvent nuire dans la monographie de tant de filons, et nous faisons une section particulière des filons de *Freissinet*, des *Combelles*, près *Saint-Sauveur*, des environs de *Saint-Jean-du-Gard*, *Saumane*, *Saint-Roman*, etc.

Filon de Freissinet.

La vallée de Pallières, qui descend du pic de la Lozère par *Costeilades*, *Le Pouget*, *Freissinet*, et va rejoindre celle de l'*Altier* auprès de *Villefort*, est coupée par plusieurs filons *N.* 50 *à* 60° *O.*, renfermant du cuivre pyriteux. Tous ont été fouillés par la compagnie Vialas : celui qui semble le plus important est visible entre les hameaux du Pouget et de Freissinet. Il affleure sur la rive droite du ruisseau et dans les schistes avec une puissance de 0m,80 à 1 mètre : il est là composé de quartz avec peu de sulfate de baryte, le tout très-ocreux et moucheté d'altérations cuivreuses. Au N.-O., auprès du *Pouget*, ce filon pénètre dans le granite et

devient alors très-irrégulier et stérile. D'ailleurs la partie visible à l'est est peu étendue; on perd cet affleurement à mi-côte. En décrivant plus tard les travaux qu'on a ouverts sur ce gîte, nous verrons que dans l'intérieur aussi le filon semble coupé vers l'est.

En résumé ce filon de Freissinet ne paraît pas avoir donné beaucoup et a été abandonné après des travaux peu développés.

Dans les environs immédiats de Freissinet et en d'autres points, aux approches de Villefort, d'anciens visiteurs ont bien annoncé des indices de cuivre, mais jamais en grande abondance.

Filon des Combelles, près Saint Sauveur.

Ce filon affleure au milieu des schistes, sur les bords du Trévèzelet, à dix minutes environ du hameau de *la Mouline*. Dirigé E.-S.-E. O.-N.-O., cet affleurement a une puissance de $0^{m},80$ et se compose de quartz, sulfate de baryte avec débris des schistes encaissants : à la surface, les seules apparences minérales consistent en veinules de carbonate de cuivre; le filon, presque vertical, se poursuit sur une longueur de 100 à 150 mètres sur les bords et dans le lit même du ruisseau; à l'est et à l'ouest on ne retrouve plus que des indices incertains. C'est dans la partie centrale de la longueur visible à la surface, qu'ont été ouverts les anciens travaux d'exploration; on en a retiré de beau minerai de cuivre pyriteux, mais mélangé d'une très-grande quantité de pyrite de fer.

Environs de Saint-Jean-du-Gard et de Saint-Roman.

Dans son ouvrage sur l'histoire naturelle du Gévaudan et du Languedoc, Gensanne signale entre *Saint-Étienne-Vallée-Française*, *Moissac* et *Saint-Roman*, deux ou trois points comme renfermant du cuivre pyriteux. Nous n'avons pas été assez heureux pour retrouver ces apparences : ainsi, nous ne connaissons pas « *les quelques mines de cuivre*, qu'il dit avoir vues,

à la montagne limitrophe entre Saint-Étienne et Mandajor. »

Quant au filon de cuivre qu'il annonce à demi-lieue *de Saint-Roman, à la Boissonnade, paroisse de Moissac*, nous présumons qu'il veut parler d'un filon que nous avons vu entre *Sainte-Croix* et *Moissac*, près du pont neuf jeté sur la branche du Gardon, qui traverse ces deux villages. Ce filon, dirigé du S.-S.-E. au N.-N.-O. nous semble complétement stérile, et nous comprenons pourquoi Gensanne ajoute à ses indications « *filon douteux.* » Cependant on a trouvé dans le lit du Gardon, des pierres détachées cuprifères qui indiqueraient qu'en effet, cette localité renferme quelques gîtes de cuivre.

Si nous ne pouvons positivement signaler des filons de cuivre dans la région au nord de Saint-Roman, nous en trouvons plusieurs entre *Saint-Roman*, *Saint-Jean-du-Gard* et *Saumane.*

Commençons par les affleurements les plus rapprochés de Saint-Jean-du-Gard.

Lorsque partant de Saint-Jean-du-Gard, on suit la route de *Lasalle* et de *Saint-Hippolyte-du-Fort*, on traverse les hameaux de *Grosille*, *Cade* et *Caderle;* c'est dans l'espace compris entre ces trois points, que se voient divers filons de pyrite cuivreuse avec pyrite de fer souvent arsénicale, sur quartz et fedspath. En général ces filons sont dirigés du N. 40° O. au N. 60° O.; ils plongent tous un peu vers l'ouest-sud-ouest, mais très-près d'être verticaux. Très-voisins les uns des autres, ils ont une puissance variable de $0^{m},40$ à $0^{m},80$.

Les apparences ne sont pas également belles sur tous les points. Divers explorateurs ont déjà sondé ces gîtes, en s'attachant aux parties les plus riches; citons celles de ces fouilles superficielles qui ont déjà donné quelques résultats.

1° Une galerie souterraine a été poussée en direction sur l'un des affleurements qui coupe le mont Brion, à mi-côte, à l'O.-S.-O. du Cade, dans une propriété de M. Almeyras. On a tiré de ce travail un très-beau minerai de cuivre pyriteux; la veine de pyrite pure découverte a une puissance de 8 à 10 centimètres; la galerie n'a que 10 mètres de longueur.

2° Un peu plus haut sur le mont Brion, au sud à peu près de l'attaque précédente, on avait entrepris une galerie qu'on a laissée après 1 mètre d'avancement; le minerai est encore très-beau.

3° Au S.-O. de Caderle, ou plutôt de la ferme de M. Almeyras, une fouille à ciel ouvert de quelques mètres, a découvert une veine de pyrite cuivreuse à peu près massive, qui paraît présenter beaucoup de régularité.

On le voit, tous ces travaux de recherches n'ont aucune espèce d'importance; mais il ne faut attribuer leur peu de développement qu'au défaut de ressources chez les explorateurs, car le minerai qu'ils retiraient de là était immédiatement utilisable, et doit être un encouragement très-grand à des recherches plus sérieuses.

Nous n'avons pas seulement examiné les affleurements dans les points que nous venons de citer; nous nous sommes assurés que cette bande de filons N.-O.-S.-E. se poursuit d'une part vers le S.-E. jusque dans les environs de Saint-Jean-du-Gard et d'autre part au N.-O., vers le quartier de Saint-Roman et Saumane.

Ainsi au S.-E., nous avons suivi la ligne de ces affleurements, plus ou moins visibles, jusque dans les propriétés du Meilet et de la Vot. Vis-à-vis le Meilet, au pied des escarpements triassiques de *Maline*, les

grès et calcaires qui reposent directement sur le granite, sont à leur limite avec cette roche, coupés par un filon quartzo-barytique de galène, bleuâtre, à grandes et moyennes facettes, qu'on suppose argentifère (nous n'en avons pas d'essai). La baryte sulfatée y est fréquemment mouchetée de carbonate de cuivre : on y aperçoit même de la pyrite cuivreuse dans une fouille à ciel ouvert qui y a été pratiquée.

Or, non-seulement ce filon est dirigé comme ceux qui précèdent, mais encore il paraît être exactement le prolongement des affleurements les mieux caractérisés entre Grosille et Caderle. Nous insistons particulièrement sur ce rapprochement comme fait à l'appui de la liaison que nous avons déjà cherché à établir entre les filons cuivreux et certains gîtes de plomb : nous y reviendrons plus loin avec quelques détails.

A la zone générale que nous venons d'esquisser nous rattacherons encore quelques affleurements de même nature et de même direction, qui apparaissent au milieu du granite, plus près de *Saint-Jean-du-Gard*, au hameau de la *Fabrègue*. C'est peut-être sur le prolongement de l'un d'eux que se trouverait du zinc sulfuré, en amas disséminés dans les couches de grès du Tryas.

La zone cuivreuse dont nous nous occupons se continue au N.-O. Entre le mont Brion et le hameau de Cade, elle sort du granite et pénètre dans les schistes. Nous ne l'avons pas suivie de Cade au quartier de Saint-Roman et de Saumane ; mais en tenant compte de quelques indices qui, nous dit-on à Saint-Jean, ont été observés sur la distance qui sépare ces points, nous ne serions pas étonnés qu'une étude ultérieure plus détaillée, n'établît un rapprochement entre la zone

précédente et les gîtes de la Valmy et de Saumane.

Filons de la Valmy et de Saumane.

Près du hameau de la *Valmy*, à 6 ou 800 mètres du Gardon et du hameau du *Serre*, au sud du lieu *Bec-de-Ju*, on observe au milieu des schistes et les coupant d'une manière un peu confuse, un puissant filon de carbonate de fer spathique, avec fer oxydulé et pyrite cuivreuse; les premiers éléments dominent de beaucoup, au moins dans les quelques travaux de recherches entrepris sur le gîte. La gangue de ces minerais est ordinairement composée de quartz, schistes stéatiteux et d'un peu de feldspath. La puissance de ce gisement, près de la surface, peut atteindre 8 à 10 mètres en plusieurs points.

Cet affleurement présente quelques particularités : on ne voit pas là l'encaissement ordinaire d'un filon, mais plutôt un épatement du minerai en masse couchée entre les schistes, ou les coupant sous un angle très-faible.

Cela peut être un épanchement de la matière de quelque filon qui n'affleure pas en ce point; c'est ce qui fait que la direction (O.-N.-O.) suivant laquelle paraît s'aligner le gîte, est un peu incertaine. Mais si l'on tient compte des affleurements de même nature qu'on trouve entre la Valmy et les environs de Saumane et toujours sur une ligne N.-O. à peu près exactement, on conclura comme nous que ce gîte appartient à un filon qui ressemble sous quelques rapports à ceux de cuivre pyriteux, signalés plus haut entre Saint-Jean, Cade et Caderle.

Jusqu'ici on n'a vu dans ces gisements de la Valmy et de Saumane, que des minerais de fer de la plus belle apparence. Les explorateurs qui s'en sont occupés, en demandent actuellement la concession, comme d'une mine de fer; mais pour nous, il est probable, sinon cer-

tain, que ce gîte deviendra éminemment cuivreux en profondeur.

§ IV. *Gîtes d'alquifoux ou de galène peu argentifère.*

Les gîtes d'alquifoux se trouvent tous concentrés sur les pentes N. et S. des monts Lozère. Cette formation métallifère est d'ailleurs beaucoup moins étendue sur le revers S. que sur le revers N.

Au S. nous ne voyons que le *Quartier des Bondons*, tandis qu'au N. l'alquifoux est exploité ou exploitable le long des vallées du Lot et de l'Altier, dans les quartiers d'*Allenc*, du *Bleymard* et de *Cubières*; plus au N. encore, le long du Chassézac, dans les communes du *Grosviala*, *Saint-Frézal*, *Belvézet* et *Aufage*. Enfin cette formation se prolonge peut-être même jusque dans l'Ardèche, car déjà sur les hauteurs qui à l'E. dominent Villefort, il en existe d'anciennes exploitations.

Il est impossible, quand on a parcouru les divers points que nous venons de signaler, de ne pas reconnaître la contemporanéité de tous ces gîtes. La constance de l'allure, les caractères communs si nombreux donnent à cet ensemble une apparence d'homogénéité très-remarquable. Dans tous les points où nous l'avons observé, l'alquifoux affecte deux modes de gisement dont la corrélation est toujours facile à établir. Ce minerai est : ou bien disséminé en amas irréguliers au milieu des couches dolomitiques du lias, quelquefois aussi, dans des grès de la base du lias ou du tryas; ou bien, en filons traversant à la fois granite, schistes, grès et dolomies. Or la liaison du premier mode de gisement au second sera toujours nettement démontrée dans la description que nous allons faire, quartier par quartier.

Pente sud de la Lozère. Quartier des Bondons.

Le village des Bondons est le centre de la bande de gîtes d'alquifoux qui s'étend depuis les hameaux de *Ruas* et *Runes*, jusqu'à *Montmirat*, en passant par les hameaux de *Colobrières*, *Champferriau*, *Lozerette*, le *Cros*, le *Crouzet*, *Saint-Martin*, *Malbosc*, *Monteil*, *Malaval* et *Nozières*.

A Runes et à Ruas, le granite affleure pour aller disparaître bientôt vers l'ouest, sous les assises du lias dont l'épaisseur est assez faible dans tout ce quartier : c'est ce qui fait que dans tous les ravins qui, dans cette région, descendent de la Lozère vers le Tarn, on voit souvent le terrain cristallisé (granite et schistes) sous le lias. Nous avons, à l'introduction de ce travail, suffisamment indiqué les circonstances de cette superposition pour n'y plus revenir ici ; parlons seulement de la minéralisation de ces terrains.

Rappelons d'abord qu'aux environs de Ruas et de Runes, nous avons déjà signalé quelques veines minérales : leur direction dominante est le N.-O.-S.-E. ; toutes sont composées de galène à grandes facettes bleuâtres avec pyrites de fer sur gangue quartzeuse et rarement barytique.

Au N.-O. de Runes et Ruas, dans le ravin de Colobrières, on compte quatre ou cinq veines pareilles aux précédentes. Leurs affleurements, surtout quartzeux, courent au milieu du granite transversalement au ravin et dans les eaux mêmes du ruisseau ; ces veines se prolongent dans les calcaires dolomitiques qui à droite et à gauche recouvrent le granite. Surtout auprès de *Champferriau*, les affleurements coupent nettement ces couches calcaires, et on y voit des petits nids de galène noyés dans le quartz et le sulfate de baryte mouchetés de carbonate de cuivre vert.

Minces dans le granite, ces filons s'épaississent

quelquefois dans les calcaires ; leur puissance s'accroît surtout par les nombreuses ramifications qu'ils y forment.

Dans les ravins qui descendent des *Bondons* vers le *Crouzet*, de *Monteil* vers *Malbosc*, de *Malaval* vers *Chadenet*, le granite quelquefois séparé du lias par des langues de schistes, est coupé ; toujours sur la direction moyenne du S.-E. au N.-O. par des veines en tout semblables à celles de Colobrières. Le ravin de Malaval surtout nous en présente deux ou trois très-importantes, qui ont été exploitées avec grand avantage dans le granite et dans les calcaires.

Plus loin vers le N.-O., c'est-à-dire à *Nozières*, aux *Combettes*, nous n'avons pas trouvé de veines pareilles au milieu du granite ; l'alquifoux n'apparaît sur ces points que disséminé dans les calcaires.

Enfin dans le ravin de *Montmirat*, près de la route de Florac à Mende, les veines réapparaissent dans le granite et dans les calcaires dolomitiques superposés.

Examinons maintenant les amas que l'alquifoux forme dans le lias, aux environs des Bondons. Leur liaison avec les veines ou filons indiqués tout à l'heure, s'y trouve démontrée à chaque pas. D'abord les calcaires dolomitiques sont sillonnés de veines barytiques souvent tachetées de carbonate de cuivre et toutes orientées sur le N.-O. Les apparences extérieures de ces calcaires rappellent en un mot ce que nous avons observé aux environs de Gatuzières.

De toutes ces veines quelques-unes seulement tiennent assez d'alquifoux à la surface pour être exploitables.

Quand on pénètre dans les nombreuses galeries souterraines, ouvertes par les paysans sur ces gîtes d'alquifoux, on se perd au milieu des nombreuses veines mi-

nérales que ces travaux ont recoupées ou poursuivies. Sur une très-grande épaisseur et à plusieurs niveaux, les couches dolomitiques du lias sont pénétrées d'alquifoux en filets soit verticaux, soit horizontaux, ou encore obliques et reliant les fissures verticales qui se voient à la surface. L'alquifoux y est noyé au milieu du sulfate de baryte. Le minerai est quelquefois concentré dans de vastes poches, mais le plus souvent tellement disséminé, qu'on a dû en plusieurs points enlever des couches entières du lias.

Comme preuve de la relation de ces amas avec les filons dont nous avons parlé, nous dirons encore que malgré l'apparente irrégularité de ces gisements, on remarque cependant que le minerai se concentre assez souvent suivant certaines directions qui paraissent faire le prolongement des filons dans le lias. Ainsi, sans prétendre faire un dénombrement complet des veines minérales, l'examen de la surface et des travaux intérieurs nous permet de citer comme particulièrement riches les lignes suivantes :

1° Une première bande, la plus méridionale, partirait des hameaux de *Crouzet* et du *Cros* et montant de là au N.-O., réapparaîtrait au S. des hameaux de *Monteil* et de *Malaval*.

2° Une autre, qui de *Lozerette*, passe aux *Bondons*, auprès de *Malaval* et se continue vers les *Combettes*, *Nozières* et *Montmirat*.

3° Une dernière bande se montrerait entre *Champferriau* et *Colobrières ;* traversant le ravin de *Combesourdes* et au N.-N.-E. de *Saint-Martin-des-Bondons*, elle se prolongerait jusqu'au N. des *Combettes* et de *Montmirat*.

Nous diviserons ces gîtes d'Alquifoux en deux districts : Pente nord de la montagne de la Lozère.

1° *District des bords du Lot et de l'Altier ;*

2° *District des bords du Chassézac.*

1° *District des bords du Lot et de l'Altier.*

Ce district comprend les quartiers d'*Allenc*, de *Bagnols-les-Bains*, du *Bleymard*, de *Cubières*, d'*Altier* (*Bergougnhoux*), de *Villefort*.

Quartier d'Allenc.

Quand, de *Bagnols-les-Bains*, on marche sur *Château-Neuf-Randon* par *Allenc*, on passe des schistes aux calcaires dolomitiques du lias, en tout semblables à ceux des environs des Bondons; cette formation n'est interrompue qu'à *Allenc*, dans le triangle que forment les deux ruisseaux de Lallegnet et des Salettes.

Le sommet de ce triangle est granitique, d'un granite à grains petits ou moyens comme celui qui affleure sous les mêmes calcaires, dans les ravins voisins des Bondons. C'est encore le même granite qui réapparaît à la *Laubert* et à la *Rouvière* pour se poursuivre au loin vers le N., dans les monts de la Margeride. Cette roche affleure ici moins souvent qu'aux Bondons : on ne la retrouve guère à la surface, dans les environs d'Allenc, qu'entre le *Villaret*, *Gendric* et le *Mazas*, au N. de *Bagnols-les-Bains*.

Ces observations expliquent tout de suite comment il se fait que nous ne trouvons pas dans le quartier d'Allenc, de filons bien caractérisés auxquels on puisse rapporter les amas d'alquifoux si nombreux qu'on y a exploités dans les dolomies.

On aperçoit bien encore de nombreuses fissures N.-O. de sulfate de baryte avec altérations cuivreuses; mais les fentes primordiales, qui ont dû servir de soupiraux aux émanations minérales, ne se voient plus dans ce quartier, d'ailleurs si semblable à celui des Bondons pour les apparences soit extérieures, soit intérieures. Les couches sont encore ici minéralisées sur de grandes épaisseurs; elles semblent même plus régulièrement ri-

ches et en certains points susceptibles d'une exploitation plus méthodique.

Ce qui précède, joint au caractère de régularité avec laquelle se succèdent les amas des environs d'Allenc, nous permet de supposer quelque filon générateur, quelque tronc principal, qui se trouverait dans les roches primitives inférieures aux calcaires et serait, comme aux Bondons et à Gatuzières, l'axe de la zone métallifère qu'on y a exploitée. La direction moyenne de cet axe serait encore N.-O.-S.-E.; en effet les points où sont les travaux les plus importants sont sur une ligne passant par *Allenc*, *Beyrac*, *Aigas*, *Pelouze*. Nous avons même constaté le prolongement de cette zone jusqu'aux approches de *Gendric* et du *Villaret*, où les calcaires présentent encore des nids d'alquifoux avec sulfate de baryte et mouches cuivreuses.

Quant à la largeur de cette zone à alquifoux, elle est assez difficile à fixer; pourtant elle nous paraît atteindre son maximum à la hauteur du village d'Allenc, où elle se prolongerait même jusque dans les territoires de *Veyrines*, la *Prade* et l'*Arzalier*.

Quartiers de Bagnols-les-Bains (Oullet), du Bleymard (Orcières, Vareilles, etc.), de Cubières et d'Altier.

Tous les gîtes d'alquifoux signalés sur ces divers points sont nettement subordonnés à un ensemble de filons orienté sur N. 40 à 50° O., et visible sur presque toute la longueur des rivières du Lot et de l'Altier, entre l'*Oustal-Cremat* (hameau au sud de Bagnols) et l'*Habitarelle* (au sud d'Altier).

Décrivons d'abord cet ensemble en le parcourant du N.-O. au S.-E.

Oustal-Cremat.

Un peu avant d'arriver à ce hameau, en venant de Bagnols, on voit deux crevasses sur la droite de l'ancienne route de Mende. Ces crevasses correspondent avec des crêtes quartzo-ferrugineuses, paraissant en faire le prolongement dans la montagne schisteuse et

calcaire, qui sépare le ravin d'*Auriac* du vallat d'*Oultet*. Mais les indices de ces affleurements sont peu considérables et ne tiennent aucune trace de minéraux métalliques.

Ravin d'Oultet. Au-dessus des dernières maisons N. d'*Oultet*, apparaît un puissant affleurement N.-O., quelques degrés O. comme les crevasses de l'*Oustal-Cremat*. Là comme au fond du ravin et sur les rives mêmes du ruisseau de *Falguierettes*, cet affleurement se compose de masses quartzeuses, coupant et empâtant les schistes sur une épaisseur de plus de 10 mètres. Dans la partie ouest, le quartz est assez fréquemment sillonné de veines barytiques serpentant d'une manière tout à fait indépendante. Vers l'ouest toujours, l'affleurement demeure très-visible au milieu des schistes jusqu'au delà d'une petite croix de bois, sur le chemin d'Oultet à Bagnols. Plus loin, il disparaît sous les calcaires et dolomies du lias; mais dans sa direction, les couches secondaires sont encore veinulées de sulfate de baryte avec nids d'alquifoux. Après le plateau liassique qui domine Oultet à l'ouest, on ne retrouve plus dans les schistes d'autres indices que ceux signalés auprès de l'Oustal-Cremat.

C'est près d'Oultet et de l'Oustal-Cremat qu'affleurent dans les schistes et parallèlement au filon précédent, les bandes de pegmatite avec sulfate de baryte, dont nous nous sommes occupés à l'introduction.

A l'est, à partir du ruisseau de *Falguierettes*, le filon précédent pénètre des schistes dans les dolomies du lias, dont la lisière sur les schistes est sensiblement dirigée comme le filon lui-même et presque toujours très-voisine des crêtes d'affleurement. Aussi retrouvons-nous les mêmes masses quartzeuses affleurant tantôt dans les schistes, tantôt dans le lias, entre *Oultet*, le

Mas, *Orcières* et *Vareilles*. Dans le lias, les crêtes consistent en une sorte de brèche calcaire et dolomitique, dont les fragments sont liés par un ciment siliceux très-fin ; le sulfate de baryte circule encore dans cet ensemble en filets indépendants. Dans les schistes, le filon, bien réglé en général, est pauvre ou stérile ; mais dans les calcaires il pousse de nombreuses ramifications et l'alquifoux devient assez abondant pour qu'on en ait fait l'exploitation sur plusieurs points ; comme toujours, la gangue est barytique et mouchetée de carbonate de cuivre. Les anciennes attaques des couches dolomitiques qui paraissent avoir été les plus productives sont situées entre *Oultet* et le *Mas*.

A la hauteur de *Vareilles* et d'*Orcières*, le filon s'infléchit un peu sur l'E.-O. et va reparaître en un ou deux points du ravin de *Combesourdes*, au sud du hameau du *Mazel*. On trouve d'ailleurs là des traces d'anciens travaux.

Entre le *mazel* et *Neyrac*, le lias devient puissant et l'affleurement disparaît, au moins on ne retrouve pas de crête ; les calcaires dolomitiques, sur la ligne de prolongement, ont été avantageusement fouillés pour alquifoux au S.-O. du dernier hameau.

Au delà de *Neyrac* vers l'est, le filon dont nous venons de suivre les affleurements depuis Bagnols, se continue peut-être à travers les schistes, mais on perd ses traces, et pour retrouver quelques indices il faut arriver vers l'est, aux hameaux du *Crouzet*, de *Pomaret*, du *Bouchet*, de la *Pigeire*.

Dans tout ce quartier (de Cubières aux environs d'Altier), nous retrouvons donc de nouveaux affleurements et qui, de plus, sont de même nature et de même allure que les premiers ; mais l'ensemble s'élargit, et au lieu d'un seul, nous en voyons deux ou trois parallèles à la

direction donnée plus haut, c'est-à-dire N.-O. quelques degrés O.

Parlons d'abord de ceux qui se rapprochent le plus du prolongement probable des filons de *Neyrac*, *Bleymard*, etc., etc.

Au sud du Bergougnhoux, à mi-distance de ce hameau à celui de la *Pigeire*, nous trouvons deux ou trois crêtes quartzo-schisteuses presque à la limite du granite et des schistes. L'une des crêtes a été fouillée; ce travail superficiel a mis à nu un filon de 1 mètre à 1^{m},20 de puissance, presque vertical ou plongeant peu vers le nord. Au toit et au mur, on distingue deux veines de galène compacte ou à grains moyens dont l'épaisseur atteint 12 ou 15 centimètres; on y trouve des mouches fréquentes de pyrite cuivreuse. L'intervalle entre ces deux veines est rempli de schistes brisés avec quartz souvent taché de cuivre pyriteux ou carbonaté. D'ailleurs, en descendant le ravin vers *Villespasses*, l'affleurement n'est plus marqué que par des eaux cuivreuses qui coulent de là vers le fond de la vallée.

Au sud-est, la même ligne d'affleurements se continue, et en pénétrant dans le granite, les crêtes deviennent exclusivement quartzeuses et stériles. Chaque fois que, placé sur les hauteurs, l'œil peut embrasser une certaine étendue de pays, nous reconnaissons que toutes ces dernières crêtes, si elles ne sont exactement le prolongement des filons d'*Oultet*, *Orcières*, etc., etc., au moins s'en rapprochent singulièrement.

A partir de Valfournès, on perd les crêtes de la Pigeire. Mais il ne serait pas impossible que ces filons se prolongeassent plus ou moins réguliers jusque dans le ravin de Costeilades, et que le filon de cuivre pyriteux déjà étudié plus haut au *Pouget* et à *Freyssinet*, près Villefort, appartînt à la zone qui nous occupe.

Revenons au Bergougnhoux pour dire quelques mots d'autres affleurements parallèles à tous les précédents. Au sud des dernières maisons de ce hameau, les calcaires inférieurs du lias sont coupés par une énorme crevasse N.-O.-O. qui se continue entre le *Bergougnhoux* et la *Prade;* on y trouve à l'affleurement, beaucoup de sulfate de baryte et de quartz, mais peu d'alquifoux. A l'ouest, on perd ce filon dans les calcaires du côté de *Redonsac*. A l'est, au contraire, on le retrouve sous forme de puissantes crêtes quartzeuses, stériles, dites le *Roc blanc*, à la hauteur du hameau de l'*Habitarelle.*

Aux affleurements qui précèdent, il est convenable de rattacher un filon connu au nord du village d'Altier. Encaissé par les schistes, il consiste en quartz, sulfate de baryte avec pyrites de fer et beaucoup de spath-fluor en cristaux cubiques bleus ou violets. La direction, au point où il a été fouillé, est E.-O. à peu près exactement; mais un grand nombre de filets barytiques courent là au milieu des schistes, et il est difficile de rien préciser sur leur allure générale. Jusqu'ici on n'a trouvé dans ce filon que de la pyrite de fer et des traces de galène.

Après la description de cette série d'affleurements, qui bordent le Lot et l'Altier, depuis Bagnols-les-Bains jusqu'auprès de Villefort, examinons les gîtes d'alquifoux répandus dans les calcaires, le long de cette même ligne.

On a exploité ou exploré les calcaires à alquifoux à *Oultet*. au *Mas*, à *Orcières*, à *Vareilles*, au *Bleymard*, à *Neyrac*, à *Cubières*, à *Redonsac*, c'est-à-dire partout où passent les filons ci-dessus décrits. Partout aussi les gîtes ressemblent à ceux d'*Allenc* et des *Bondons*, sauf la richesse qui paraît infiniment moindre que dans ces autres quartiers. Le plateau liassique qui recouvre les

schistes entre *Neyrac*, *Cubières* et le *Bleymard*, paraît de beaucoup le plus riche. Ce plateau, qui forme le col de séparation des bassins du Lot et de l'Altier, se prolonge jusque entre les *Alpiers-Malecombe* et les *Villes-Hautes*. Or, dans ces derniers points aussi, on a exploité de nombreux nids d'alquifoux.

2e District des bords du Chassézac.

Les calcaires et dolomies étudiés auprès d'*Allenc* se prolongent au nord jusqu'au plateau de *Montbel* et se replient de là vers l'est où ils s'amincissent, en recouvrant les schistes anciens vers les villages ou hameaux de *Saint-Frézal*, *Belvézet*, *Chassérades*, *Aufage* et *Grosviala*. Dans ces deux derniers points, les calcaires et dolomies sont particulièrement riches en alquifoux. Ici encore les amas de ce minerai sont en relation avec un filon énorme dont l'affleurement est très-visible entre le *Grosviala* et *Aufage*. C'est sur le filon même qu'ont été ouverts les travaux si productifs qui ont enrichi bon nombre de paysans d'*Aufage*, et c'est sur son prolongement que s'exploitent encore aujourd'hui les veines ou nids du *Grosviala*.

Le filon affleure bien dans le ravin qui coupe le chemin du Grosviala à Aufage, un peu avant d'arriver à ce dernier hameau. Dirigé là à l'O.-N.-O., il a une puissance de 2 à 3 mètres en sulfate de baryte, alquifoux et mouches cuivreuses. Comme ceux examinés plus haut, près du Lot et de l'Altier, ce filon forme presque la limite des schistes et du lias. Dans les assises secondaires, il n'apparaît plus que par veines multipliées de sulfate de baryte cuivreux, toutes parallèles au N.-O. ou à l'O.-N.-O. Ces caractères le rapprochent donc complétement des gîtes des *Boudons*, d'*Allenc*, etc., etc.

Pour terminer la description des gîtes d'alquifoux ou de galène peu argentifère, disons qu'on a signalé d'autres gîtes de même nature tout le long du Chassé-

zac, à l'*Hermet*, au *Puylaurens*, etc., etc. Nous ne les avons pas visités pas plus que les filons de la *Bastide*, *Mercoire* (où sont des haldes d'anciennes scories plomboeuses), *Bertal*, la *Vérune*, etc., qui tous renferment le même minerai.

Enfin les couches de grès déjà signalées au-dessus des massifs granitiques et schisteux, près des *Balmelles* et sur la route de *Villefort* aux *Vans* (Ardèche), sont souvent fissurées sur la direction N.-O. ; ces fissures renferment encore du sulfate de baryte, et les couches deviennent assez riches en alquifoux pour avoir été exploitées à plusieurs reprises, il y a déjà fort longtemps.

§ V. *Gîtes d'antimoine sulfuré.*

Les gîtes d'antimoine sulfuré sont groupés dans les régions E. et S.-E. du département de la Lozère, vers les limites de ce département avec ceux de l'Ardèche et du Gard. On peut approximativement limiter l'espace où se trouve l'antimoine aux points suivants, en marchant suivant la direction même de la zone antimonifère, c'est-à-dire du S.-S.-O. au N.-N.-E. :

Moissac, *Saint-Germain-de-Calberte*, *Saint-Martin-de-Lensuscle*, *Saint-Étienne-Vallée-Française*, *Cassagnas*, *Saint-Hilaire*, *le Collet*, *Saint-Michel-de-Dèze*, *Saint-Martin-de-Bobaux*. *Portes*, *Peyremale*, *Malbosc*.

Ces gisements suivent, eux aussi, une certaine loi dans leur disposition, et en général dans les caractères de leur allure. Dans toute l'étendue que nous venons de signaler, on peut distinguer deux ou trois lignes de filons d'antimoine, toutes parallèles et composées de la même manière. Les deux premières sont dans la Lozère, et la troisième dans le Gard et dans l'Ardèche.

1° La première ligne comprend les gîtes du *Plan-de-Fontemeure*, de *Cassagnas*, de *Solpéran*, de *Vieljouve*.

2° La deuxième, de beaucoup la plus importante, comprend tout l'espace limité par les points suivants : *Moissac*, *Saint-Étienne-Vallée-Française*, *Saint-Germain-de-Calberte*, *Saint-Martin-de-Bobaux*, *Saint-Hilaire*, *le Collet et Saint-Michel-de-Dèze*, *Saint-Andéol-de-Clerguemort*.

3° La troisième ligne comprend quelques filons aux environs de *Saint-Paul* (*Lacoste*) (Gard) et les concessions d'antimoine sulfuré de *Cessous*, *Auzonet* et *Malbosc*.

Plan de Fontemaure.

Lorsque sur la route de Saint-Germain de Calberte à Florac (par Barre), on arrive à la hauteur du col ou Plan-de-Fontemaure, si de la route on descend vers le ravin qui prend là naissance pour se poursuivre vers les hameaux de *Serremjeane*, de *Fontanille*, etc., on rencontre des indices assez fréquents de minerai d'antimoine ; pourtant on n'y découvre aucune veine importante. On voit seulement de petites veinules irrégulières courant dans les schistes, ou le plus souvent couchées dans leurs feuillets : il est possible qu'on ait trouvé de l'antimoine sulfuré dans les affleurements, mais nous n'en avons pas observé.

Filons de Cassagnas et Solpéran.

L'exploitation autrefois très-active sur ces points est aujourd'hui abandonnée, comme sur la plupart des gîtes de même nature dont nous avons à parler. Il ne reste guère que des déblais qui, le plus souvent, obstruent les anciens travaux et empêchent d'y pénétrer. Ainsi à Cassagnas en particulier, il est impossible de bien juger de l'allure du gîte. Il nous paraît y avoir là plusieurs filons très-inclinés ; c'est-à-dire faisant avec la verticale un angle de plus de 30 à 40° : leur direction paraît être celle du N.-E. vrai, c'est dire que ces filons sont comme couchés dans les micaschistes. A l'intérieur, l'antimoine sulfuré s'y trouvait dans des nerfs quartzeux serpentant

au milieu d'un remplissage de schistes broyés et souvent comme réduits en argile.

Filon de Vieljouve.

Entre ce hameau et celui de Vieljouve, se trouve un filon d'antimoine sulfuré longtemps exploré avec avantage. Il court à peu près exactement au N.-E. A la surface, la puissance ne dépasse pas $0^m,60$ à $0^m,80$, mais les travaux intérieurs ont montré qu'elle augmentait en profondeur. Encore ici, le filon a l'air d'une fente irrégulière pleine de schistes pourris, consolidés par des veines quartzeuses qui servent de gangue au sulfure d'antimoine. Très-souvent à l'intérieur, ces veines se sont renflées sous forme de poches lenticulaires. C'est un des filons sur lesquels on prétend avoir observé que les gîtes d'antimoine sulfuré s'appauvrissent en profondeur; sans nier ce fait, il serait possible aussi, qu'eu égard à la disposition du minerai en masses lenticulaires, on eût pris la fin d'une poche pour la limite de la partie métallifère en profondeur.

Au sujet de cette première zone de gîtes d'antimoine, remarquons que son orientation moyenne correspond assez bien avec la direction ordinaire de chacun d'eux; cela tend à établir entre eux une connexion que nous ferons mieux ressortir après l'étude des lignes suivantes.

Environs de Moissac et de Saint-Germain-de-Calberte.

Dans tout l'espace compris entre ces deux chefs-lieux de communes, on trouve des indices de minerai d'antimoine, mais jamais bien abondants; jamais, que nous sachions, on n'en a tenté l'exploitation. Nous citerons seulement pour mémoire les environs immédiats de *Moissac*, *Fauguières*, *Reinaldes*, etc. Beaucoup de points qu'on nous avait d'ailleurs signalés dans cette région et dans les environs de Saint-Martin-de-Lansuscle comme antimonifères, sont seulement remarquables par une grande quantité de petits filons de

pyrite, ou bien encore de mispickel. Quelquefois ces filons sont altérés à la surface et produisent, au milieu des schistes, des veines d'un jaune rougeâtre assez semblables aux affleurements de sulfure d antimoine.

La remarque que nous venons de faire sur l'abondance des filons de pyrite pure ou arsenicale dans les quartiers de *Moissac*, *Saint-Germain* et *Saint-Martin*, s'applique encore à toute l'étendue comprise entre *Saint-Germain*, *Saint-Privat-de-Vallongue*, le *Collet-de-Dèze* et *Saint-Andéol-de-Clerguemort*.

Filons d'antimoine sulfuré compris entre Saint-Étienne - Vallée-Française, Saint-Martin - de - Boubaux, le Collet et Saint-Andéol-de-Clerguemort.

C'est dans cette bande que se trouve le plus grand nombre de gîtes d'antimoine. Nous avons déjà, à l'introduction de ce mémoire, insisté sur l'aspect physique de cette contrée. On comprendra aisément, à ce que nous avons dit sur la nature du terrain surtout, qu'il n'est pas facile de juger de l'allure de filons aussi peu puissants, aussi peu réglés en général que ceux qui nous occupent. Ils sont d'ailleurs souvent recouverts d'anciens déblais, et l'alignement des haldes est alors le seul élément qui permette de fixer la direction. Aussi cette direction a-t-elle été souvent mal rapportée par les géologues qui ont visité ces gîtes; au lieu de l'E.-O. (direction qu'on trouve dans plusieurs publications), elle oscille entre le N.-E. et le N.-N.-E.-S.-S.-O. Serrés les uns contre les autres, au moins dans la zone que nous allons parcourir, les filons d'antimoine forment des faisceaux d'une grande continuité; or, dans une description d'ensemble comme la nôtre, il importe bien plus de fixer l'orientation de ces faisceaux que de signaler toutes les irrégularités d'allure propres à chaque filon isolément.

Une dernière observation sur la zone dont nous allons parler : elle est la seule qui renferme des gîtes de galène; mais c'est une galène pauvre en argent, et les

filons qui en renferment, minces, couchés dans les schistes au milieu de filons d'antimoine, semblent donc contemporains de ceux-ci. C'est ce qui nous a engagé à ne pas séparer les uns des autres dans notre description.

Filons des environs de Saint-Etienne - Vallée-Française.

On connaît plusieurs filons dans la partie Est de cette commune. L'un d'eux, celui dit de la *Coupette*, entre les hameaux de *Soliège* et de *Combe-d'Avezac*, a donné lieu à une exploitation assez suivie. On a fait aussi quelques fouilles entre les hameaux du *Mazelet* et de *Tarascon*; enfin au *Mas-Mahuc*, à l'extrémité E.-N.-E. de la commune.

Le plus important de ces gîtes est celui de la *Coupette*. Ce que nous dirons des caractères généraux de son allure s'appliquera d'ailleurs aux autres points.

Plusieurs veines qui serpentent irrégulièrement dans les schistes au haut du ravin de Solièges semblent se rattacher à un filon principal dirigé du S.-S.-O au N.-N.-E. : il est couché dans les schistes dont la direction est sensiblement la même; la roche composante du filon consiste en menus fragments de schistes satinés, bleus ou verdâtres, imprégnés quelquefois d'une matière jaune et rouge, probablement de l'oxysulfure d'antimoine; au milieu de ce remplissage des veines ou rognons de quartz qui cimente et durcit les fragments schisteux, le tout portant des veinules ou petits nids de sulfure d'antimoine lamelleux, grenu ou aciculaire. La puissance de ce filon principal est de 50 à 60 centimètres en moyenne, rarement de $0^m,80$ à 1^m.

Le point de la Coupette, où nous voyons le filon puissant et exploitable, n'est évidemment qu'un point de renflement et de multiplication d'un ensemble de veines, qui se prolongent au delà, vers le N.-E. et vers le S.-O., mais d'une manière peu visible.

Peut-être les indices qui ont amené des fouilles près du hameau de *Serres*, au N.-E. de *Combe-d'Avezac*, correspondent-ils au prolongement N.-E. des veines de la *Coupette* : on y a trouvé de très-beau minerai d'antimoine.

En tout cas, suivant toujours la direction N.-N.-E., nous rencontrons de nouveaux indices et d'anciennes exploitations d'antimoine, sur les bords du Calaizon.

Filons des environs de Saint-Martin-de-Bobaux.

Entre les hameaux d'*Espinassou* et de *Terraillon*, et le long du Calaizon, entre le *Pendedis* et *Saint-Martin-de-Bobaux*, on coupe plusieurs filons qui présentent les mêmes caractères que ceux de la Coupette, etc.; ainsi, direction moyenne N.-N.-E.-S.-S.-O.; inclinaison très-forte; veines souvent couchées dans les feuillets des schistes; minerai quartzeux; abondance de pyrites.

Un grand nombre de fouilles ou de galeries d'exploitation se voient dans le ravin du Calaizon, surtout à sa naissance vers le *Pendedis*.

Région entre le Pendedis, Saint-Martin-de-Robaux, le Collet et Saint-Michel-de-Dèze.

Si on descend du Pendedis vers Saint-Michel-de-Dèze, on côtoie à droite une montagne assez élevée qui sépare la vallée du Calaizon de celle du Collet. Cette montagne présente, sur une ligne allant du Collet à Saint-Martin, deux pentes très-différentes : l'une très-rapide vers le Calaizon, et l'autre plus douce vers *Saint-Michel* et le *Collet-de-Dèze*. Les filons des bords du Calaizon pénètrent au nord dans cette montagne et sur les contreforts qui descendent au Collet et à Saint-Michel; dans les ravinements profonds qu'y ont creusés les eaux pluviales, on retrouve de nombreux affleurements et les exploitations d'antimoine les plus importantes de la Lozère.

Les premières traces d'anciennes fouilles sont à Saint-Michel, ou mieux près du hameau de *Sidrac*.

Puis, en descendant encore vers le Gardon, on voit près de *La Rivière*, sur la rive droite et sur la rive gauche du Gardon, de nombreux tas de déblais annonçant une exploitation longtemps poursuivie : les travaux paraissent avoir été ouverts sur deux ou trois veines qui se continuent au N.-E.

Nous observons encore ici une puissance assez faible, $0^m,50$ à $0^m,60$ au plus, forte inclinaison sur l'horizontale, et toujours dans le même sens que plus haut; enfin, mêmes roches de remplissage et d'encaissement.

Au milieu de ces veines de *La Rivière*, sur la rive droite du Gardon et près de leur prolongement vers le ravin de Sidrac, affleure un de ces filons de galène dont nous avons déjà parlé. Parallèle aux autres, incliné comme eux, il est rempli d'une roche quartzoschisteuse avec baryte sulfatée, le tout portant de la galène peu argentifère; au moins, c'est ce qui résulte d'un essai fait à Marseille par des fabricants d'antimoine qui avaient fouillé ce gîte; ils ont abandonné ces travaux par suite de leur essai.

Ce filon plombeux monte au S.-O. le long d'un petit ravin qui, partant du Gardon en même temps que celui de Sidrac, côtoie la route du Collet au Pendedis jusqu'à la hauteur de *Thomet* et de *Saint-Michel;* mais là il se subdivise en veines ou veinules de peu d'importance.

Filons du Collet-de-Dèze.

Il est bien difficile d'énumérer les diverses veines de sulfure d'antimoine sur lesquelles ont été ouvertes les nombreuses galeries du Collet, auprès des hameaux d'*Hombras*, d'*Artigrau*, *Tignac*, etc. Il nous suffira de remarquer que ces filons sont parallèles à ceux de *La Rivière;* que, comme tous ceux décrits ci-dessus, ce sont le plus souvent des bancs couchés dans les schistes, offrant de très-grandes irrégularités dans

l'allure des veines minérales (1). Si l'exploitation paraît s'être concentrée dans la région la plus voisine du Collet, il n'en faut pas conclure que les filons ne se prolongent pas au S.-O.; il nous semble évident, au contraire, que cette bande est en relation avec les gîtes reconnus à *Terraillon*, *Paillassier*, etc., dans la commune de *Saint-Martin-de-Bobaux*. Seulement, les exploitants ayant, en général, peu de ressources, ont dû rechercher les moindres difficultés d'exploitation; ils ont donc rapproché leurs fouilles des ravins voisins du Gardon, où les eaux mettaient à nu les veines minérales, et leur permettaient de les atteindre aisément sans trop de frais.

Enfin cette même bande se poursuit au nord-est, car on nous a signalé d'anciennes fouilles de ce côté, et particulièrement au nord-est du Collet, près du hameau de *La Borie*.

A la ligne que nous venons de suivre depuis Saint-Étienne-Vallée-Française jusqu'au Collet se rattachent encore vraisemblablement quelques indices d'antimoine sulfuré qu'on a trouvés près de *Tremijeols*, non loin de *Saint-Andéol-de-Clerguemort*, quelques filons fouillés au moins superficiellement dans le Gard; ainsi, près de Saint-Jean-du-Gard, au nord-est de *Falguières* et dans les environs de *Saumane*, au sud de *La Valmy* et à l'ouest de *Saint-Martin-de-Croconas*, on a extrait du minerai de gîtes d'antimoine en tout semblables à ceux que nous avons décrits.

Filons d'antimoine de Portes, Peyremale et Malbosc.

Pour terminer l'ensemble des gisements d'antimoine sulfuré, parlons de la troisième ligne, c'est-à-dire de celle qui, dans le Gard et dans l'Ardèche, comprend les concessions d'Auzonnet et de Malbosc.

---

(1) Encore ici, on a fouillé, au ravin de Tignac, un filon de galène alquifoux couché au milieu des gîtes d'antimoine sulfuré.

Sans nous arrêter à ces derniers gisements exploités, et connus depuis longtemps, nous n'avons pour but, en suivant cette dernière ligne, que de vérifier la régularité d'orientation que présentent les filons d'antimoine. Nous avons cherché si entre *Portes* et *Malbosc* il n'y aurait pas quelque affleurement antimonifère qui reliât ces deux points, et cela encore sur la direction N.-N.-E. S.-S.-O. Or, en effet, les environs de *Peyremale*, c'est-à-dire à mi-distance (vol d'oiseau) de *Portes* à *Malbosc*, renferment quelques filons d'antimoine, dont un surtout se voit très-bien sur la rive droite de Luech, près du moulin du Mazert. Ce filon a même été exploité il n'y a pas bien longtemps : assez puissant à l'affleurement, $0^m,80$ à 1 mètre ou $1^m,20$ en plusieurs points, il est dirigé du S.-S.-O. au N.-N.-E.; couché et comme intercalé dans les micaschistes, il est, à la surface, composé de veines ocreuses avec quartz et sulfate de baryte.

Un ouvrier qui avait travaillé à son exploitation nous assura qu'on en avait retiré de très-beaux rognons de minerai d'antimoine. Mais quoique ce filon soit un des mieux réglés et des plus puissants que nous ayons vus, nous doutons qu'aujourd'hui, à cause du bas prix de l'antimoine régule, ce gîte soit plus exploitable que tous ceux qui précèdent.

Nous en avons dit assez sur les filons d'antimoine sulfuré pour faire voir, comme nous l'annoncions, qu'ils obéissent dans leur disposition à une loi de continuité que déjà nous avions fait ressortir pour les autres gîtes métallifères de la Lozère; nous allons bientôt revenir sur ce sujet dans un résumé géologique sur tous les filons décrits.

§ VI. *Gisements de manganèse.*

Les indices de manganèse oxydé sont très-fréquents dans la Lozère; mais le plus souvent ce minéral se

trouve, comme les oxydes de fer, disséminé d
formations secondaires du trias et du lias en
trop faible pour qu'on songe à l'exploiter (1
n'avons vu qu'un seul point où l'on pourrait p
fructueusement tenter des travaux, c'est au
des *Cabanals*, près de *Meyrueis*.

Là, ce sont encore les formations liassiques
siques qui, reposant directement sur les micas
sont fortement imprégnées d'oxydes de fer et
ganèse. Les schistes sont, tout le long du pe
seau des Cabanals, luisants, satinés, très-durs
fissiles, enfin surchargés de peroxyde de fer.
schistes reposent, à stratification discordan
couches de grès, rouges à la surface et d'un g
à l'intérieur. Ces grès sont recouverts à leur
calcaires dolomitiques d'une cassure terreuse
d'un gris foncé et veinulés de noir. Ces dernièr
ches sont séparées les unes des autres par d
de 50 à 60 centimètres d'épaisseur de marn
leuses qui se réduisent facilement en une
fragmentaire un peu grasse au toucher; ces
sont fréquemment *bariolées* de vert, de roug
vin, de jaune, de noir, etc. En suivant les pe
deux flancs du ravin, on voit aux couches pré
succéder, sans démarcation bien tranchée, de
calcaires séparées seulement par de minces
marnes feuilletées, calcaires dont la teinte s
de plus en plus, à mesure qu'on s'élève jusqu
met de la montagne, c'est-à-dire vers *Pied-Po*
on trouve les marnes supraliassiques faciles
naître à leurs caractères pétrographiques et

(1) On connaît aussi quelques filons de manganè
granite de Saint Jean-du-Gard, mais inexploitables
dirons autant d'un filon quartzobarytique (N.-O.-
coupe la Trueyre auprès d'*Albaret-Sainte-Marie* (L

grand nombre de fossiles, surtout de bélemnites, on y voit.

C'est dans les bancs de marnes *bariolées* que sont nombreux rognons de peroxyde de manganèse. Les caires dolomitiques qui encaissent ces bancs renfermnt bien du manganèse en veinules ou en rognons, ais pas en aussi grande abondance que les marnes. ous avons pu extraire de ces bancs, à l'aide du pic de la pioche, et en très-peu de temps, deux ou trois intaux de minerai très-pur. Le peroxyde de mangase y est mélangé de carbonate de chaux cristallisé. Tous les étages secondaires que nous esquissions ut à l'heure sont pénétrés de manganèse jusqu'aux arnes supraliassiques exclusivement; mais l'action inéralisante, qui s'est produite là, a diminué d'intenité pendant le dépôt du lias, car ses assises calcaires ont à peine marbrées de rose, dans la partie la plus levée.

CHAPITRE III.

RÉSUMÉ GÉOLOGIQUE SUR TOUS LES GÎTES MÉTALLIFÈRES. TENEUR EN ARGENT DES DIVERS MINERAIS. AGES PROBABLES DES GÎTES.

De la description monographique que nous venons de faire résulte un premier fait : c'est la dispersion des gîtes dans toutes les formations géologiques, qui se partagent l'étendue de la contrée métallifère. Pourtant ces gîtes se diversifient entre eux par plus d'un caractère, et surtout par la nature du remplissage, par l'âge des formations qu'ils traversent ou qui les recouvrent, enfin par les directions prises, non dans leurs variations accidentelles, mais dans leur ensemble et sur de grandes étendues.

Déjà la nature du remplissage a déterminé l'ordre de notre description. Il est cependant, à ce sujet, certains

détails d'ensemble qui ne pouvaient être présentés avec fruit qu'au point où nous en sommes; nous voulons parler de l'association des gangues et des minéraux utiles, et pour les minerais plombeux, en particulier, de leur teneur comparative en argent.

D'un autre côté, l'âge des formations où pénètrent les filons ou sous lesquelles ils disparaissent, les directions, considérées comme nous l'entendons, deviennent d'un grand secours pour la comparaison des gîtes, soit entre eux, soit avec d'autres plus ou moins éloignés. Le parti qu'on peut en tirer devient plus grand encore, si on rapproche les faits qui s'y rapportent de ceux signalés, à l'introduction de ce travail, sur la disposition générale des massifs primordiaux et des roches éruptives.

C'est à l'aide de ces divers éléments que nous avons adopté le groupement qui suit :

Premier groupe. Filons de galène riche en argent.

Deuxième groupe. Gîtes de galène moins riche en argent, d'alquifoux, avec ou sans pyrite de cuivre. Gîtes de manganèse oxydé.

Troisième groupe. Filons d'antimoine sulfuré.

I. *Filons de galène riche en argent.*

A ce premier groupe appartiennent : toute la zone comprise entre *Chamborigaud*, *Vialas* et *Florac* ; celle qui comprend les gîtes de *Bluech*, *Pradal*, *La Bégude*, etc., et enfin une partie des filons des environs de *Villefort* et particulièrement *Mazimbert* et *Peyrelade*.

Ce premier groupe est caractérisé par la prédominance des galènes à grain d'acier, très-argentifères, par la rareté des galènes à grandes et moyennes facettes, et d'autres minéraux métalliques utiles. La pyrite de fer, le quartz, les schistes brisés, le sulfate de baryte, sont les éléments ordinaires de la gangue.

La baryte est cependant l'élément le moins généralement abondant ; de plus, ici comme dans beaucoup d'autres districts métallifères, elle tend à disparaître en profondeur. Enfin l'abondance des galènes pauvres en argent semble dépendre de la plus ou moins grande proportion de baryte dans les gangues. Ce dernier fait a été vérifié par un grand nombre d'essais des produits de ces gîtes, et dont voici le résumé :

	grammes.
A Vialas, la teneur moyenne aux 100 kil. de plomb-d'œuvre a été, argent.	4 à 450
— Sur quelques points *des Anciens* et *des Avesnes* où la baryte abonde	150 à 200
— Sur quelques anciennes attaques des filons *du nord* et *du sud*, *Chauffez*, etc., où la baryte dominait.	50 à 100
A Florac (Bédouès et Cocurès) où la prédominance de la baryte est généralement plus marquée.	300 à 350
— Sur certains points même, cette teneur descend à	100
A Bluech, *Pradal*, *Castanet*, moyenne.	400
— Le minerai quartzeux de *Pradal*.	600
— Le minerai barytique du *Castanet* (affleurement)	170
— Minerai barytique, *Quille de Bluech*. . .	30 à 60
Au Mazimbert, où le quartz domine surtout en profondeur sur la baryte.	400 à 500
— *A Peyrelade*. Teneur du minerai quartzeux.	600
— Par le mélange de quartz et baryte. . .	150 à 200

Tout en signalant cet abaissement de la teneur en argent dans certaines circonstances, il importe d'observer encore une fois que les teneurs moyennes sont très-élevées et que tous les filons de ce groupe doivent être regardés comme éminemment argentifères.

Au point de vue de l'encaissement, ces filons ne paraissent pas traverser d'autres formations que celles des granites à petits grains (*Peyrelade*, *Bédouès*, *Cocurès*), et des schistes anciens (*Vialas*, *Villefort*,

Bluech, etc.). Ils apparaissent d'ailleurs souvent à la limite même des massifs de granite porphyroïde, et les énormes crêtes quartzeuses qui surgissent à *Vialas*, à *Villefort*, le long de cette même limite, se relient à la fois aux filons métalliques et aux masses granitiques; aux premiers, par les nombreuses traces de minéralisation qu'elles présentent, et au granite, par le feldspath à peine micacé ou compacte qui y serpente parallèlement au quartz.

Considérons encore la direction : des environs de *Chamborigaud* à *Florac* d'une part ; de *Portes* à *Bluech* et *Pradal* de l'autre ; traçons deux lignes qui seront les axes de deux séries de fractures énormes où nous voyons aujourd'hui condensées les richesses minérales de Vialas, Bluech, etc., etc. La direction moyenne de ces deux lignes, c'est-à-dire O5 à 10°N, sera encore celle des gîtes de Mazimbert et Peyrelade pris dans leur ensemble. Or, c'est là la première orientation principale, que nous signalions à l'introduction, dans le massif granitique lozérien et dans les cours d'eau qui découpent cette région. Ces rapprochements conduisent naturellement à conclure : *Que ces vastes filons de galène argentifère qui se continuent sur de si grandes étendues et en lançant quelquefois, comme à Vialas et à Florac, de si nombreuses ramifications, appartiennent à un système unique de fractures, dont l'ouverture a été déterminée par l'apparition du granite porphyroïde.*

II. *Gîtes d'alquifoux et de galène généralement moins riches en argent, avec ou sans pyrite cuivreuse. Gîtes de manganèse oxydé.*

A ce groupe appartiennent : 1° Les gisements de galène argentifère de *Meyrueis*, de *Saint-Sauveur*, du *Marquairès*, de *Cabrillac*, de *Bahours*, du *Tournel*, du *Bergongnhoux* et quelques-uns de ceux du nord de

Villefort, notamment ceux de *Bayard*, *Lagarde*, etc.

2° Les filons, couches, amas d'alquifoux, des *Bondons*, d'*Allenc*, *Aufage*, *Grosviala*, *Oultet*, *Cubières*, etc.

3° Les filons de pyrite cuivreuse avec ou sans plomb de *Gatuzières*, des *Combelles*, *Freissinet*, *Saint-Roman*, *Saint-Jean du Gard*, etc.

4° *Les gîtes de manganèse oxydé.*

Autant les galènes à grandes et moyennes facettes étaient rares dans le premier groupe, autant elles surabondent ici ; de même aussi, la proportion de baryte devient généralement supérieure à celle des autres gangues. Les minerais, presque exclusivement plombeux dans le premier groupe, se compliquent, dans le second, par la présence souvent simultanée des sulfures de plomb, de cuivre, de zinc et de fer ; et tel filon comme ceux de *Gatuzières*, *Ribevènès*, *Campise* et *Campredon* qui paraît uniquement plombeux sur un point, devient cuivreux ou plombo-cuivreux sur un autre.

Les résultats de nos essais sur la teneur en argent des minerais de ce groupe, sont d'accord avec ce qui vient d'être dit.

Voici les teneurs en argent pour 100 kilogrammes de plomb d'œuvre (1) :

		grammes.
Gisement de	*Ribevenès* (minerais quartzeux).	45 à 180
—	*Sainte-Barbe et Saint-Sauveur* (minerai barytique).	50 à 60
—	*Cabrillac* (quartzo-calcaire).	97
—	*Marquairès* (quartzo-barytique). . . .	200
—	*Gatuzières* (plombo-cuivreux et quartzo-barytique).	150
—	*Tournel* (barytique).	150
—	*Bergougnhoux* (quartzo-barytique) .	250
—	*Bahours* (barytique).	140
—	*Bayard*.	125
—	*Lagarde* (près Villefort).	110

(1) Quelques-uns de ces résultats nous ont été communiqués par M. Dupont, ingénieur des mines à Alais.

Gisements d'alquifoux (minerais presque tous barytiques).

—	*Montmirat et les Bondons*.	30
—	*Mazel* (près du Bleymard).	45
—	*Aufage et Grosviala*.	15

La pyrite cuivreuse n'est pas toujours en quantité exploitable, mais des apparences cuivreuses existent sur presque tous ces gîtes. Presque toujours associée au minerai de plomb, elle domine quelquefois et elle devient l'élément important (*Gatuzières*, *Combelles*, *Cade*, *Saint-Jean*, etc.).

L'intercalation des gîtes de manganèse oxydé dans ce groupe s'explique déjà au point de vue du remplissage, car les indices de manganèse oxydé dans les couches du lias ou autres secondaires, accompagnent souvent et en particulier à *Montmirat* et aux *Bondons* les veines barytiques à alquifoux.

Tous les gîtes de ce groupe traversent la série complète des formations comprises entre le granite à petits grains ou porphyroïde jusqu'au lias et aux marnes supraliassiques inclusivement ; ils disparaissent sous les assises inférieures du terrain jurassique. Quand il est possible, comme à Meyrueis, Gatuzières, aux Bondons et au nord de la Lozère, d'observer des filons qui traversent à la fois plusieurs formations, un premier fait vous frappe, c'est la variation du remplissage suivant la nature des roches encaissantes et en même temps aussi le changement d'allure du filon. Ainsi, quelquefois, bien réglé et puissant dans les terrains cristallins, il se subdivise en veines ou veinules dans les terrains secondaires ; d'autres fois c'est le contraire ; exemple : Gatuzières. C'est là un exemple du peu de constance des règles qu'on a voulu poser à cet égard.

Un dernier caractère commun à tout ce groupe, c'est que la direction des gîtes, facile à tracer, à cause de leur grande puissance et de leur continuité, oscille con-

stamment autour de l'orientation moyenne : (*O.* 25° *à* 35° *N.*). Ainsi le long d'une première ligne tracée des environs de *Saint-Jean du Gard* à *Gatuzières* (Voyez la carte), se groupent tous les gîtes de la partie méridionale; une autre, courant de *Pont de Montvert* à *Montmirat*, serait l'axe des gîtes d'alquifoux de *Ruas*, *Runes*, des *Bondons*, etc. Enfin, au nord de la Lozère, les gîtes de galène argentifère ou d'alquifoux des bords du *Lot*, de l'*Altier*, du *Chassézac* s'alignent à peu près parallèlement à une troisième ligne reliant *Freissinet*, près *Villefort*, à *Bahours*, près de *Mende*. Ces trois axes sont sensiblement parallèles à l'orientation générale O. 25° à 35° N. Il est bon de rappeler ici qu'on connaît un filon de manganèse oxydé, sur les bords de la *Trucyre*, à *Albaret Sainte-Marie*, qui court sur cette direction, nouvelle raison de rapprochement entre ces gîtes et le groupe qui nous occupe.

Rappelons maintenant qu'à l'introduction nous avons signalé cette orientation O. 25° à 35° N. comme une des principales qu'affectent les massifs montagneux de la contrée métallifère.

Les gîtes de ce second groupe semblent donc appartenir à *un système de fractures produites postérieurement au dépôt du lias et même des marnes supraliassiques, sous l'influence d'un soulèvement orienté sur le N.* 55° *à* 65° *O.*

Mais ajoutons que les éléments nous manquent pour fixer nettement la place de cette dislocation dans la série des soulèvements connus. Nous avons bien observé aux environs de *Meyrueis* et le long du *Lot*, auprès de *Bagnols* et d'*Oullet*, des pegmatites et autres roches feldspathiques, en filons, qui paraissent associés et parallèles aux filons métalliques ; mais si ceux-ci pénètrent dans les couches secondaires, les autres s'y arrêtent au contraire. Peut-être les premières fractures

sont-elles contemporaines de ces roches anciennes, et se sont-elles élargies de nouveau après le dépôt des couches secondaires sous l'influence éloignée de cataclysmes plus modernes. Nous dirons plus bas quelques mots de cette manière de considérer la formation de ces filons.

Nous ferons observer seulement ici que pour résoudre complétement la question de l'âge de ces filons, il faudrait peut-être recourir, comme terme de comparaison, aux nombreux filons de même nature et de même direction qui sillonnent les bords du plateau central. Sans aller bien loin, on trouve même dans l'*Aveyron*, aux environs de *Milhau*, plusieurs gîtes en tout semblables. Ce sont les filons du *Minier*, de *Limasette* et de *Galès*, composés de baryte sulfatée, quartz, galène peu argentifère (180 à 250 grammes au quintal de plomb d'œuvre) avec pyrites de cuivre et de fer, et de la blende : leur direction oscille entre N. 20° O. et N. 65° O.; ils traversent les formations secondaires comme ceux de la Lozère.

III. *Groupe des filons d'antimoine sulfuré.*

Ce groupe de gîtes est bien distinct des deux premiers. Ici nous voyons des filons nombreux, mais peu puissants; des fentes irrégulières remplies de schistes brisés ou pourris, avec noyaux ou veines de quartz portant le sulfure d'antimoine mélangé de pyrite de fer. La baryte n'y apparaît, comme la galène alquifoux, que sur un petit nombre de points; jusqu'ici la présence de ces éléments n'a été constatée que sur les prolongements des zones plombeuses de Vialas et de Bluech, c'est-à-dire à *Peyremale* et au *Collet*.

Les filons d'antimoine ne sont connus jusqu'ici que dans la formation schisteuse.

La régularité de direction et la continuité des zones

antimonifères dont nous nous sommes occupés, est un caractère saillant de ces gîtes. L'orientation moyenne de ces zones est le N. 10 à 20° E. (1). C'est donc la même que celle de la ligne des faîtes des deux mers, prise entre *Fontmaure*, *Cassagnas* et les *Sources-du-Tarn*. De plus, elle coïncide encore avec la direction générale des bandes de fraidronite. D'ailleurs, il est d'autres faits qui établissent la connexion des bandes de fraidronite avec les fentes où s'est déposé le sulfure d'antimoine. Parmi ces faits, nous citerons : 1° la concentration des filons d'antimoine tout le long de certaines zones de fraidronite, comme à *Cassagnas*, à *Solpéran*, à *Vieiljouve*, au *Rouve*, etc. 2° L'abondance des pyrites de fer souvent arsenicales, qui se retrouvent associées au minerai d'antimoine et en filets nombreux, qui sillonnent les schistes, dans le voisinage de la fraidronite.

La connexion des gîtes d'antimoine et de la fraidronite nous semble donc assez *probable* : remarquant d'ailleurs que la fraidronite traverse le granite porphyroïde et coupe les filons plomboargentifères qui lui sont subordonnés, mais qu'elle ne pénètre, pas plus que les filons d'antimoine, dans les terrains secondaires, nous arriverons à la conclusion :

Que les fentes où s'est déposé le sulfure d'antimoine sont le résultat d'un soulèvement N.-N.-E.-S.-S.-O. correspondant vraisemblablement à l'éruption de la fraidronite et de ses variétés.

De tout ce qui précède, il résulte qu'on peut classer les fractures où sont déposées les richesses minérales de la Lozère, ainsi qu'il suit, par ordre d'ancienneté :

---

(1) Cette direction et celle N.-S. se retrouvent fréquemment dans les filons d'antimoine connus sur le plateau central (Haute-Loire et Limousin).

1° Filons de galène très-riches en argent (Vialas, Villefort, Bluech, Florac).

2° Filons d'antimoine sulfuré (Lozère, Gard, Ardèche).

3° Filons ou gisements divers plombeux ou plombo-cuivreux, généralement moins riches en argent qu'en (1°) (environs de Meyrueis, Saint-Sauveur, Saint-Jean, pentes nord et sud de la Lozère).

Jusqu'ici nous avons eu bien soin de ne parler que de l'âge des cassures, et non de celui des roches qui les remplissent. C'est qu'en effet, autant la continuité et la régularité de direction des fractures s'accordent avec l'idée de leur production subite et simultanée, autant la variété et l'indépendance avec lesquelles les roches composantes se succèdent dans les mêmes gîtes, sont contradictoires avec cette théorie. Les faits de la composition des gîtes s'expliquent au contraire avec la plus grande simplicité, en admettant l'hypothèse d'un remplissage successif, hypothèse soutenue par plusieurs géologues, et particulièrement par M. *Grüner*, ingénieur en chef des mines. Dans cet ordre d'idées, « les » filons métallifères auraient, comme les dépôts sédi- » mentaires, exigé pour leur entier développement des » périodes d'une durée fort longue; plusieurs périodes » et plusieurs soulèvements auraient pu contribuer, » chacun pour sa part, à la formation d'un même en- » semble de filons métallifères (1). »

En admettant cette hypothèse, on comprend mieux : la présence simultanée des galènes à fines et à grandes facettes, du quartz et de la baryte dans certains filons du premier groupe; la présence de la galène alquifoux et de la baryte sur quelques points isolés des filons quartzo-schisteux d'antimoine; la variété si grande des

(1) M. Grüner. Mémoires inédits.

minéraux répandus dans les gîtes du deuxième groupe ; enfin les renflements de certains gîtes de ce groupe, lorsqu'ils pénètrent dans les couches supérieures de l'étage liassique.

TABLE DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE MÉMOIRE.

INTRODUCTION. — But et division du mémoire. 401

CHAP. I. — GÉNÉRALITÉS SUR LA STRUCTURE ET LA COMPOSITION DU SOL. — POSITION DES GÎTES MÉTALLIFÈRES. 403

Terrain granitique. 406

Terrain schisteux. 408

Roches éruptives qui traversent les formations granitiques et schisteuses. 412

Filons de fraidronite. Variétés. — Nature de ces roches. — Allure. 412

Filons de pegmatite et de quartz. 419

Terrains secondaires. — Formations du trias, du lias, et de l'oolite. 420

CHAP. II. — DIVISION DES GÎTES MÉTALLIFÈRES PAR GROUPES. 426

§ I. — *Gîtes de galène argentifère*. 428

1° Environs de Meyrueis et de Saint-Sauveur. 428

2° Lignes de gîtes compris entre Cassagnas, Bluech, le Collet de Dèzes et Portes. 434

3° Ligne de gîtes compris entre Florac, Vialas, Chamborigaud et Peyremale. 438

4° Gîtes compris entre Villefort et Mende, pente nord de la Lozère. 460

§ II. — *Gîtes plombo-cuivreux*. 466

Filons de Gatuzières, de Malbosc, de Compredon et Campise, Férussac et Rousses. 466

Filons plombo-cuivreux sur les pentes de la Lozère. 473

§ III. — *Gîtes de cuivre pyriteux*. 474

Filons de Freissinet, des Combelles, près Saint-Sauveur, de Saint-Roman, Sarmane et Saint-Jean-du-Gard. 474

§ IV. — *Gîtes d'alquifoux ou de galène peu argentifère*. 480

Quartiers des Bondons, pente sud de la Lozère. 481

District des bords du Lot et de l'Altier : Allenc, Oultet, Cubières, etc. 484

District des bords du Chassézac : Grosviala, Aufage, etc. 490

§ V. — *Gîtes d'antimoine sulfuré*. 491

Ligne de Fontemaure, Cassagnes, Selpéran et Vieljouve. 492

Ligne de Moissac, Saint-Germain-de-Calberte, Saint-Étienne-Vallée-Française, Saint-Martin-de-Bobaux, le Collet et Saint-Michel-de-Dèze. 493

Ligne de Saint-Paul-Lacoste (Gard) à Cessous, Portes Peyremale, Malbosc (Ardèche). 498

§ VI. — *Gîtes de manganèse oxydé*. 499

Quartier des Cabanals (Meyrueis). 500

CHAP. III. — RÉSUMÉ GÉOLOGIQUE SUR TOUS LES GÎTES MÉTALLIFÈRES. — TENEUR EN ARGENT DES DIVERS MINERAIS. — AGES PROBABLES DES GÎTES. 501

NOTICE

SUR LA PEROWSKITE DE ZERMATT, ESPÈCE MINÉRALE.

Par M. DAMOUR.

M. Hugard, aide naturaliste au Muséum d'histoire naturelle de Paris, a rapporté, à la fin de l'automne dernier, des minéraux recueillis dans diverses parties de la Suisse et particulièrement dans la vallée de Zermatt, au pied du mont Rose et du mont Cervin. Parmi ces minéraux, on remarque une substance en masse compacte, demi-transparente, douée d'un éclat qui la distingue des autres espèces déjà connues dans cette contrée des Alpes.

M. Hugard m'ayant prié d'en faire l'examen, je reconnus, après quelques essais, qu'elle devait être rapportée à l'espèce que M. G. Rose a décrite il y a plusieurs années sous le nom de *Pérowskite*. Cette matière minérale, essentiellement composée d'acide titanique et de chaux, est encore assez rare dans les collections de Paris et n'avait été rencontrée jusqu'à ce jour que dans un seul gîte, celui d'Achmatowsk près Slatoust, en Sibérie.

Les échantillons de pérowskite, trouvés près de Zermatt, au glacier de Findelen, sont en masse réniforme. Leur couleur est le jaune pâle, jaune de miel et jaune orangé, passant quelquefois au brun rougeâtre. Ils sont demi-transparents; certains fragments de peu d'épaisseur, détachés de la masse, présentent même une transparence complète.

A l'aide d'une loupe, on aperçoit sur l'un de ces échantillons, une druse tapissée de cristaux cubiques transparents et incolores.

Ce minéral est doué d'un vif éclat qui peut être comparé à celui du sphène ou du zircon. Sa cassure est ordinairement raboteuse et inégale; cependant elle présente parfois deux clivages rectangulaires, sans grande netteté.

J'ai trouvé, pour sa densité, les nombres : 4,037, 4,039.

Il raye l'apatite et est rayé par une pointe d'acier.

Sa poussière est blanche.

Exposé à la flamme du chalumeau il reste infusible et ne change pas d'aspect.

Fondu avec le sel de phosphore il se dissout complétement et donne, au feu de réduction, la couleur bleue-violacée qui caractérise l'oxyde de titane.

Il est attaqué par l'acide chlorhydrique, à chaud, et s'y dissout partiellement.

L'acide sulfurique porté à la température de + 300 degrés le décompose entièrement en dissolvant l'acide titanique et en formant du sulfate de chaux.

L'acide azotique ne l'attaque pas.

Le barreau aimanté est quelquefois attiré plus ou moins fortement lorsqu'on en approche un échantillon de perowskite. Cet effet est dû à la présence accidentelle de petits cristaux de fer oxydulé ou de fer titané qui se trouvent engagés dans la masse du minéral : mais si l'on renouvelle l'expérience avec des fragments choisis avec soin dans les parties pures et transparentes de la substance, le barreau aimanté cesse d'être attiré. J'ai observé les mêmes caractères sur des morceaux de perowskite provenant de la Sibérie.

L'analyse a été faite par le procédé suivant :

On a attaqué par l'acide sulfurique, chauffé à + 300 degrés, le minéral réduit en poudre très-fine par la lévigation. Après une assez longue digestion et l'évaporation de la majeure partie de l'acide mis en excès, on a traité la masse saline par une grande quantité d'eau : une portion notable de la matière s'est alors dissoute. Le résidu non dissous a été traité de nouveau par l'acide sulfurique, puis par l'acide chlorhydrique bouillant et par de nouvelles quantités d'eau. Après plusieurs traitements semblables on est ainsi parvenu à dissoudre la totalité de la matière à l'exception de quelques flocons de substances talqueuses et siliceuses pesant 3 à 4 milligrammes.

La liqueur fortement acide qui tenait le minéral en dissolution était limpide et incolore : on l'a saturée d'ammoniaque. L'acide titanique s'est précipité en flocons blancs, entraînant une certaine quantité de chaux. La liqueur ammoniacale a retenu la majeure partie de la chaux en dissolution.

On a redissous dans l'acide chlorhydrique, l'acide titanique encore humide et on l'a de nouveau précipité par l'ammoniaque pour le dégager de la chaux qu'il avait entraînée. La liqueur ammoniacale a été réunie à celle qu'on avait précédemment obtenue ; puis on a précipité la chaux par l'oxalate d'ammoniaque.

L'acide titanique, après un lavage convenable, a été dissous dans l'acide oxalique. On a versé la liqueur oxalique, goutte à goutte, dans une dissolution aqueuse de carbonate ammoniacal en grand excès. L'acide titanique est resté dissous dans le carbonate alcalin : les dernières traces de chaux qu'il avait retenues se sont précipitées à l'état d'oxalate calcique. On a filtré la li-

queur pour séparer cet oxalate et pour le réunir ensuite à celui qu'on avait déjà recueilli.

La dissolution ammoniacale renfermant l'acide titanique a été traitée par quelques gouttes de sulfhydrate ammoniaque. On a précipité, par ce moyen, à l'état de sulfure, une petite quantité de fer qu'elle contenait. La liqueur était parfaitement limpide au moment où elle venait d'être filtrée ; mais après quelques heures de repos elle s'est troublée en laissant déposer des flocons blancs d'acide titanique. On a accéléré la formation de ce dépôt en faisant chauffer la liqueur : on l'a filtrée ensuite pour recueillir l'acide titanique. Cet acide calciné était parfaitement blanc. En évaporant à sec la liqueur filtrée et calcinant le résidu pour chasser les sels ammoniacaux on a recueilli encore une faible quantité d'acide titanique.

L'oxalate de chaux, recueilli à part, a été chauffé avec précaution, puis calciné au rouge blanc à l'aide de la lampe à essence de térébenthine, dont M. H. Deville a recommandé l'emploi. On a, par ce moyen, converti l'oxalate en chaux caustique, qu'on a pesée, et l'on s'est assuré ensuite que cette chaux ne retenait aucune trace d'acide carbonique.

La liqueur ammoniacale, séparée de l'oxalate de chaux, s'est légèrement troublée par l'addition du phosphate de soude : elle contenait des traces de magnésie.

Le sulfure de fer, séparé de la liqueur renfermant l'acide titanique, a été dissous dans l'acide nitrique. On a dosé le fer à l'état d'oxyde ferrique.

Deux analyses, exécutées par le même procédé, ont donné les résultats suivants :

	1re analyse.	2e analyse.	moyenne.	oxygène.		rapp
Acide titanique.	0,5928	0,5917	0,5923		0,2362	2
Chaux.	0,4023	0,3961	0,3992	0,1135	0,1160	1
Oxyde ferreux. .	0,0085	0,0144	0,0114	0,0025		
Magnésie.	traces.	traces.	»	»		
	1,0036	1,0022	1,0029			

La perowskite de Sibérie, analysée il y a quelques années par MM. Jacobson et Brook, est composée ainsi qu'il suit :

Acide titanique.	0,5900	»	0,2343	2
Chaux.	0,3676	0,1016	0,1129	1
Oxyde ferreux.	0,0479	0,0109		
Magnésie.	0,0011	0,0004		
	1,0066			

On voit par ces résultats que le minéral récemment trouvé à Zermatt, et celui qui provient de Sibérie, se confondent en une même espèce représentée par la formule :

$$CaO, TiO^2.$$

La perowskite de Zermatt est, comme celle de la Sibérie, engagée dans une gangue talqueuse schistoïde de couleur verte, traversée par des veines de chaux carbonatée ; elle est associée à du fer oxydulé. Un des échantillons rapportés par M. Hugard est en partie recouvert d'une croûte noire de quelques millimètres d'épaisseur, que j'ai reconnue être essentiellement formée de fer titané renfermant une notable proportion de magnésie et d'oxyde de manganèse. J'ai commencé l'analyse de ce composé.

La perowskite vient ainsi s'ajouter à la liste des espèces minérales particulières aux terrains talqueux et serpentineux des Alpes piémontaises ; espèces qui se retrouvent, avec des caractères extérieurs entièrement identiques, dans la partie des monts Ourals, située

vers le district d'Achmatowsk, près Slatoust, en Sibérie. Cette similitude d'aspect est telle que lorsqu'on met en regard les échantillons provenant de chacune de ces localités, si éloignées l'une de l'autre, on serait tenté de croire, du moins pour la plupart d'entre eux, qu'ils ont été recueillis sur un seul et même gîte. Ce fait, que je crois pouvoir signaler ici, a été déjà remarqué par plusieurs minéralogistes. Voici les noms de ces espèces minérales :

Perowskite.	Serpentine.
Grenat orangé.	Zircon.
Grenat topazolite.	Sphène.
Idocrase.	Fer titané.
Diopside.	Fer oxydulé.
Chlorite.	Rutile.
Ripidolite.	Corindon.
Pennine.	

En considérant cette réunion assez nombreuse de mêmes espèces se présentant sous un aspect identique, n'est-on pas fondé à attribuer leur formation à une seule et même cause? Ne pourrait-on pas supposer également que les roches et les terrains qui les renferment ont une origine commune et contemporaine? Je soumets ces questions aux géologues.

DE LA PRÉSENCE DE L'IRIDIUM

DANS L'OR DE CALIFORNIE.

Par M. Henri DUBOIS, ingénieur civil à Londres.

Le fait que l'or de la Californie contient de l'iridium est connu, il y a déjà quelques années; dès 1850, les essayeurs de la banque d'Angleterre commencèrent à signaler l'existence de ce métal dans l'or provenant de la Californie, et la banque prit alors la décision de refuser tout l'or qui en contiendrait, même des traces. Cette mesure s'étendit d'une manière générale à toutes les monnaies d'or frappées en Amérique. Il y eut, de la part du directeur de la monnaie de Philadelphie, des réclamations très-vives, et, au mois de décembre 1852, il écrivait au directeur de la banque d'Angleterre que l'exclusion aussi absolue de leurs monnaies, sous le prétexte qu'elles contenaient des traces d'iridium, l'étonnait d'autant plus que, depuis le mois d'octobre 1851, il avait mis en pratique à la monnaie de Philadelphie un procédé pour extraire l'iridium de l'or.

« Le plan finalement adopté, disait-il, consiste à » profiter de la pesanteur spécifique de l'iridium, qui, » étant plus forte que celle de l'or, fait qu'il descend au » fond du creuset quand l'or est à l'état de fusion. On » prend grand soin de ne pas plonger trop près du » fond quand on coule. De cette manière, les portions » d'or restant au fond du creuset sont riches en iridium; » on les dissout séparément dans l'eau régale, et l'iri- » dium est obtenu comme résidu. »

Ce procédé, que le directeur de la monnaie de Philadelphie considérait comme tout à fait efficace (*entirely effectical*), et qui était appliqué à toutes les matières d'or frappées ou affinées à Philadelphie, n'empêche cependant pas qu'aujourd'hui encore la banque refuse beaucoup de l'or venant de Philadelphie comme contenant de l'iridium. Cet or subit alors une dépréciation de 4 pences par once, et nous est envoyé pour un second affinage. C'est là ce qui nous a amené à étudier cette question.

La présence de l'iridium dans l'or cause des difficultés pour le monnayage et la bijouterie. Ce métal, infusible à la température à laquelle on fond l'or, ne s'allie pas avec lui, et s'y trouve à l'état de petits grains qui pèsent jusqu'à 40 milligrammes, et qui produisent des défauts dans les pièces et surtout dans les bijoux.

Mais c'est dans les opérations d'affinage surtout que la présence de l'iridium dans l'or a une grande importance. Des expériences très-suivies nous ont prouvé que non-seulement il est impossible de déterminer exactement le titre des matières d'or tenant de l'iridium, mais encore qu'un cornet d'essai peut tenir jusqu'à 10 milligrammes de ce métal sans qu'il soit visible, auquel cas le titre de l'or se trouverait exagéré de 20 millièmes (l'essai se faisant au 1/2 gramme).

D'un autre côté, des expériences non moins positives nous ont prouvé que, bien que le procédé ordinaire d'affinage de l'or ne devrait pas débarrasser l'or de l'iridium (ce métal étant complétement insoluble dans l'acide sulfurique), cependant il en enlève une grande partie, de telle sorte que les affineurs recevraient l'iridium comme or, et en laisseraient la plus grande partie dans le travail, ce qui constitue nécessairement pour eux une perte.

Il importait donc de trouver un moyen de pouvoir se rendre compte de la quantité d'iridium contenue dans l'or. Ce moyen, d'après ce que nous avons dit, ne devait pas consister à expérimenter sur de faibles quantités, comme celles sur lesquelles on fait les essais, car l'iridium ne s'allie pas à l'or, et ne s'y trouve pas réparti d'une manière régulière et uniforme ; il ne pouvait pas consister non plus à dissoudre l'or dans l'eau régale, ce qui laisserait l'iridium comme résidu ; car une pareille opération n'est pas manufacturière et industrielle.

Partant du principe posé sur la densité relative des deux métaux, nous sommes arrivés à un procédé très-simple qui nous permet d'extraire (sans augmentation de frais) l'iridium de quelque quantité d'or que nous ayons à affiner, et cela sans faire usage de l'eau régale. Voici en quoi consiste ce procédé.

Quand on a reconnu qu'une partie d'or à affiner tient de l'iridium, on l'allie avec trois fois son poids d'argent, comme d'habitude ; seulement, avant de jeter l'alliage en grenailles, on a soin de le laisser reposer environ quinze minutes.

L'iridium, dont la densité est 19, se trouvant en petites paillettes infusibles dans un alliage dont la densité moyenne est 12 ou 13, l'iridium gagne la partie inférieure du creuset, tellement que si on laissait refroidir toute la matière dans le creuset, et que l'on prît des essais à différentes hauteurs sur le culot ainsi obtenu, on verrait que tout l'iridium est à la partie inférieure, et qu'à environ 1 pouce du fond, il n'y en a pas de traces; mais au lieu de cela, on jette en grenailles, de manière à ne pas prendre dans le fond et à laisser dans le creuset environ 4 à 5 kilogrammes de matière, puis on recharge une nouvelle fonte.

On continue de la même manière, en laissant tou-

jours déposer l'iridium 15 minutes à chaque nouvelle fonte, et en laissant au fond 4 à 5 kilogrammes. C'est dans le dernier fond que se trouvera tout l'iridium. On le refond avec 30 kilogrammes d'argent environ; on brasse bien le mélange, on le laisse reposer 15 minutes, puis on enlève à la cuiller tout le dessus, comme on a fait précédemment, en laissant un fond de 4 à 5 kilogrammes. On recharge encore 30 kilogrammes d'argent trois ou quatre fois, tellement qu'à la fin on arrive à un fond contenant tout l'iridium, et seulement quelques millièmes d'or. En le dissolvant par l'acide sulfurique dans un vase de platine, on obtiendra l'iridium comme résidu. Il sera mêlé à quelques atomes d'or; mais cet or est tellement divisé et léger que, par un simple lavage, on l'enlève facilement.

20.000 onces (622 kilogrammes) d'or de Californie traité de cette manière, ont donné 21 onces (653 grammes) d'iridium, c'est-à-dire plus de 1 p. 1000.

Depuis environ huit mois que ce procédé est appliqué, nous avons extrait 3^k,500 d'iridium.

Il sera maintenant facile de comprendre, d'après ce qui précède, que le procédé ordinaire d'affinage de l'or lui enlève une partie de l'iridium qu'il contient. Quand l'or se trouve allié à 3 fois son poids d'argent, l'iridium, comme nous l'avons vu, tombe au fond du creuset; et comme la cuiller, avec laquelle on jette en grenailles, ne va pas jusqu'au fond, l'iridium y reste et s'y amasse à chaque opération. Si, à la fin du travail, on essaye de vider tout à fait le creuset, en le renversant dans le tonneau aux grenailles, on remarquera qu'il reste, adhérente au creuset, une matière pâteuse qui n'est autre chose que de l'alliage d'or et d'argent très-riche en iridium, et qui passera dans les *cendres* et dans les *culots de lavures*. Il en résultera donc

pour l'affineur un déchet, puisque l'iridium est entré comme or.

Lorsqu'au lieu de recevoir l'or en lingots on le reçoit en poudre, le procédé pour extraire l'iridium subit une modification. Lors de la fusion de la poudre avec du *fondant* (mélange de potasse et de sel marin), la plus grande partie de l'iridium est entraînée mécaniquement dans les scories, et en les refondant, on obtient un culot d'or très-chargé d'iridium, tandis que les barres n'en contiennent que des traces insignifiantes. On traite ce culot à part, de la manière qui a été indiquée.

A Londres, quand l'or a été reconnu contenir de l'iridium, il subit une dépréciation de 4 pences par once, c'est-à-dire 4,3 p. 1000, ou 15 francs par kilogramme.

A Paris, l'or contenant de l'iridium n'avait pas jusqu'à présent subi de dépréciation; mais les expériences que j'ai décrites ayant été vérifiées à l'affinage de M. Poisat, donnent l'explication des déchets d'or que l'on obtenait depuis quelques temps; aussi M. Poisat a-t-il élevé à 12 francs par kilogramme, au lieu de 6, les frais d'affinage pour l'or de la Californie.

EXTRAITS DE CHIMIE

(TRAVAUX DE 1853 ET 1854).

Par M. E. RIVOT, ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

Influence de l'eau dans les décompositions chimiques; par M. H. ROSE.

Annales de Poggendorf, 1853-54, t. LXXXVIII, LXXXIX, XC, XCI.

Dans une série de publications, faites dans les annales de Poggendorf, M. le professeur H. Rose expose les résultats qu'il a obtenus en faisant agir l'eau sur les borates de différents oxydes.

M. H. Rose opère par double décomposition, en faisant agir des proportions déterminées de borate neutre de soude ou de borax, sur des dissolutions neutres de sulfates, d'azotates, ou même d'aluns, à la température ordinaire ou à l'ébullition; les sels sont tous dissous dans la même proportion d'eau, 12 équiv. d'eau pour 1 équiv. de sel.

Les précipités, qui se forment dans les différentes circonstances, sont analysés, soit après simple compression entre des feuilles de papier à filtre, soit après de longs lavages à l'eau bouillante.

Les principaux résultats obtenus par le savant chimiste de Berlin sont les suivants:

Oxyde de cobalt. — Le borate obtenu en précipitant une dissolution neutre de sulfate de cobalt par du borate neutre de soude, est très-volumineux, et sa composition peut être représentée par la formule:

$$3CoO + 2B.O^3 + 5HO \text{ (1)}.$$

Mais le précipité retient une proportion notable d'alcali et d'acide sulfurique.

(1) La composition de tous les précipités est déterminée après dessiccation à la température de 100°.

Oxyde de nickel. — Le précipité obtenu par le borate neutre de soude dans une dissolution de sulfate de nickel, est vert et très-volumineux: la précipitation n'est pas complète quand on emploie 1 équiv. de borate pour 1 équiv. de nickel; la liqueur reste colorée en vert.

Le précipité non lavé retient un peu de soude et d'acide sulfurique; il contient l'acide borique, l'oxyde de nickel et l'eau, dans des proportions qui s'éloignent fort peu de celles représentées par la formule :

$$2NiO + 2B.O^3 + 5Ho.$$

Par lavage à l'eau froide, on peut lui enlever la presque totalité de l'alcali et de l'acide sulfurique, mais, en même temps, une certaine proportion de l'acide borique. La composition du précipité bien lavé se rapporte à la formule :

$$3NiO + 2BO^3 + 5HO.$$

Les proportions d'acide borique et d'oxyde de nickel paraissent rester constantes, soit qu'on opère à la température ordinaire, soit qu'on fasse la double décomposition à la température de 100°.

Oxyde de zinc. — En faisant agir à froid le borate ordinaire sur le sulfate de zinc, les deux sels étant employés en équivalents égaux, la précipitation du zinc n'est pas complète; le précipité très-volumineux retient de l'acide sulfurique et de la soude. Non lavé, mais seulement comprimé entre des feuilles de papier à filtre, il renferme l'acide borique, l'oxyde de zinc et l'eau dans les proportions indiquées par la formule :

$$3ZnO + 3BO^3 + 4HO.$$

Un long lavage à l'eau froide lui enlève une forte proportion d'acide borique, en même temps que l'alcali et l'acide sulfurique. Le précipité bien lavé et séché à 100° contient :

$$9ZnO + 4BO^3 + HO.$$

Si on opère à l'ébullition on peut obtenir la précipitation complète de l'oxyde de zinc; le précipité a pour composition :

$$15ZnO + 4BO^3 + 15HO,$$

mais il retient une forte proportion d'acide sulfurique et d'alcali.

On peut déduire de ces observations la conséquence sui-

vante : l'eau froide et surtout l'eau bouillante enlèvent une forte proportion d'acide borique au borate neutre de zinc, récemment précipité.

Oxyde de cadmium. — Le borax ordinaire décompose à peu près complétement le sulfate neutre de cadmium, quand on fait agir des équivalents égaux des deux sels. Le précipité obtenu à la température ordinaire paraît être du borate neutre, retenant une forte proportion d'acide sulfurique et de soude.

A l'ébullition il se forme un borate basique, qui retient aussi de l'acide sulfurique et de la soude, et qui paraît avoir pour composition :

$$15CdO + 10BO^3 + \text{Eau}.$$

Oxyde d'argent. — Le borate neutre de soude précipite incomplétement l'oxyde d'argent de la dissolution d'azotate neutre, au moins quand on emploie 1 équiv. de borate alcalin pour 1 équivalent d'azotate d'argent. Le précipité est d'un blanc un peu jaunâtre, caséeux ; il se dissout en grande partie dans l'eau, en laissant un dépôt brun d'oxyde d'argent presque pur.

Le borate non lavé est à peu près du borate neutre ; l'analyse indique la composition :

$$11AgO + 10BO^3 + 12HO.$$

La matière insoluble brune, obtenue par un long lavage à l'eau froide, contient seulement 1 équiv. d'acide borique pour 6 équiv. d'oxyde d'argent, et ne renferme que très-peu d'eau, après dessiccation à la température de 100°.

Il est important d'observer que pendant le lavage la plus grande partie de l'oxyde d'argent se dissout, et que la partie insoluble attire l'acide carbonique de l'atmosphère.

En répétant ces expériences à la température de l'ébullition, M. H. Rose est parvenu à enlever la presque totalité de l'acide borique à l'oxyde d'argent.

A la température ordinaire, le borax, ou borate de soude ordinaire, précipite incomplétement l'azotate d'argent ; le précipité blanc peut être dissous entièrement par un lavage à l'eau froide, longtemps prolongé.

Le précipité blanc contient :

$$2AgO + 3BO^3 + 2HO + \text{de la soude} -.$$

En le lavant pendant un certain temps à l'eau froide, on en

dissout une partie ; le reste devient plus brun, et contient un peu moins d'acide borique.

Si on fait la précipitation à la température de 100°, on obtient un précipité blanc, devenant rapidement brun, qui paraît avoir la composition :

$$AgO + BO^3 + HO.$$

Il est en partie décomposé par l'eau bouillante qui lui enlève la presque totalité de l'acide borique, en dissolvant une certaine proportion de l'oxyde d'argent.

Sesquioxyde de fer. — Le borate neutre de soude précipite complétement, à froid, le peroxyde de fer d'une dissolution d'alun, d'oxyde de fer et d'ammoniaque, au moins quand on fait agir un excès de borate.

Le précipité est brun, plus clair que l'hydrate de sesquioxyde de fer, et ne se rassemble pas bien, même après vingt-quatre heures de repos. Il est nécessairement imprégné de borate de soude.

M. H. Rose l'a soumis à l'analyse, après l'avoir comprimé entre des feuilles de papier à filtre, et lui a trouvé la composition :

$$4(Fe^2O^3\ BO^3) + NaO\ BO^3 + 6HO.$$

On peut lui enlever complétement le borate de soude par un long lavage à l'eau froide ; bien lavé et desséché à 100°, il contient :

$$6Fe^2O^3 + Bo^3 + 6HO.$$

Le borax ordinaire se comporte à peu près comme le borate neutre ; il donne un précipité brun, très-gélatineux, qui contient une forte proportion de borate de soude. Par un long lavage à l'eau froide, on peut lui enlever la totalité de l'alcali et presque tout l'acide borique. Bien lavé et desséché à 100°, il contient :

$$9Fe^2O^3 + BO^3 + 9HO.$$

Alumine. — En versant un excès de borate neutre de soude dans une dissolution d'alun, on obtient un volumineux précipité blanc, qui contient : toute l'alumine, une forte proportion d'acide borique, de l'acide sulfurique, de la soude, de la potasse et de l'eau. M. H. Rose le considère comme un mélange de sulfate alcalin avec une combinaison de borate d'alumine et de borate de soude :

$$5(Al^2O^3\ BO^3 + HO) + (NaO\ BO^3 + 2HO).$$

Un long lavage à l'eau froide lui enlève le borate alcalin, les sulfates, et laisse le borate d'alumine :

$$2Al^2O^3 + BO^3 + 15HO.$$

Le borate de soude ordinaire, employé en excès, précipite aussi complétement l'alumine de la dissolution d'alun. Le précipité est très-volumineux et complexe; après lavage à l'eau froide, il devient :

$$2Al^2O^3 + \frac{4}{3}BO^3 + 16HO -.$$

Recherches sur le bismuth; par M. SCHNEIDER.

Annales de Poggendorf. t. LXXXVIII, page 45; t. XCI, page 464.

M. Schneider remarque que le bismuth et ses combinaisons ont été peu étudiés jusqu'à présent. La facile décomposition des sels neutres par l'eau oppose de grandes difficultés aux recherches analytiques.

Les études de M. Schneider ont été faites sur l'oxyde et sur le sulfure de bismuth.

Protoxyde, BiO.—Plusieurs chimistes ont essayé vainement de l'obtenir pur :

Par grillage menagé du métal au contact de l'air;

Par calcination de l'oxalate à l'abri du contact de l'air;

Par une action réductive peu énergique, à la température du rouge sombre, appliquée au sesquioxyde ou bien à un sel.

M. Schneider a préparé des combinaisons définies du protoxyde de bismuth avec le bioxyde d'étain par une méthode assez compliquée.

On prépare le tartrate neutre de bismuth, en faisant agir 4 parties d'acide tartrique sur 5 parties d'azotate neutre de bismuth; il se forme lentement un précipité cristallin, blanc, de tartrate neutre. On le lave avec de l'eau chargée d'une très-faible quantité d'acide tartrique. Quand il est bien lavé, on le dissout dans 6 à 8 parties d'eau chaude, et on ajoute progressivement de la potasse, jusqu'à ce que la réaction devienne légèrement alcaline.

Ayant ainsi obtenu une dissolution stable de tratrate double basique, on la mélange avec une dissolution de protochlorure d'étain, neutre, et rendue elle-même très-stable par addition d'acide tartrique et de potasse.

La liqueur reste d'abord claire; elle se colore peu à peu en

brun, et laisse déposer un précipité qui contient: du protoxyde de bismuth, du bioxyde d'étain et de l'acide tartrique. Il se produit d'autant plus vite qu'on chauffe davantage, et qu'on opère dans des liqueurs plus concentrées.

Comme il est impossible de le filtrer, on doit commencer par lui enlever l'acide tartrique. Dans ce but, on chauffe jusqu'à ce que l'action réductive soit certainement terminée, et on ajoute de la potasse de manière à redissoudre le précipité. La liqueur est colorée en brun tellement intense, qu'il suffit de 1 partie de bismuth dans 1000 parties d'eau pour donner une teinte très-foncée.

On fait bouillir avec un sel de soude; il se forme un précipité brun, qui se rassemble assez bien, mais qui renferme encore de l'acide tartrique. On le lave par décantation, et on le traite par une dissolution de potasse: une partie seulement du précipité se dissout: on fait encore bouillir la dissolution avec un sel de soude, et on répète ces opérations autant de fois qu'on peut reconnaître l'acide tartrique dans la dissolution de potasse. On lave alors à l'eau bouillante.

Le précipité brun, obtenu de cette manière, contient:

Bismuth.	59,09
Étain.	16,48
Oxygène.	9,09
Eau.	15,34
	100,00

Ces nombres conduisent à la formule:

$$2BiO + SnO^2 + 6HO.$$

En remplaçant le protochlorure d'étain par le sesquichlorure, Sn^2Cl^3, M. Schneider a obtenu un stannate un peu différent:

$$BiO + SnO^2 + 2HO.$$

Ces deux composés sont très-stables et ne perdent pas la totalité de l'acide stannique, quand on les fait chauffer très-longtemps dans une dissolution concentrée de potasse. Cependant on peut obtenir le protoxyde de bismuth sensiblement pur, en soumettant le stannate de bismuth préparé à basse température, à l'action successive de dissolutions de potasse de plus en plus concentrées, et en évitant autant que possible le contact de l'air. Le protoxyde est brun et cristallin, très-fa-

cilement réductible, et aussi très-facilement altérable à l'air; il contient :

Bismuth.	92,60	
Oxygène.	7,40	BiO.

M. Schneider indique une autre méthode un peu moins compliquée pour sa préparation.

On prépare deux dissolutions acides, contenant : l'une, du sesquichlorure de bismuth, l'autre, du protochlorure d'étain ; on les mélange et on ajoute un notable excès d'acide hydrochlorique. Dans la liqueur claire, ainsi obtenue, on sature incomplétement l'acide par la potasse; il se forme un précipité brun, qui renferme : du protoxyde de bismuth, de bioxyde d'étain et de la potasse.

On le traite par des dissolutions de potasse de plus en plus concentrées, en s'arrêtant quand il est devenu noir et cristallin : c'est alors, suivant M. Schneider, du protoxyde du bismuth bien pur.

Sulfures. — Plusieurs chimistes admettent qu'en combinant directement le soufre au bismuth, on obtient le bisulfure BiS^2; M. Schneider cherche à démontrer que ce sulfure n'existe pas, que le soufre, en se combinant directement avec le bismuth, produit le sulfure BiS^3, qui peut dissoudre une forte proportion de métal.

Quand on fond dans un creuset du bismuth avec un excès de soufre, on obtient par refroidissement lent, des cristaux assez bien définis, entourés d'une masse cristalline. Les cristaux ont une composition peu différente de celle représentée par la formule BiS^2; la masse cristalline renferme une proportion de soufre plus forte. Ces deux parties, traitées par l'acide hydrochlorique, laissent une certaine quantité de bismuth métallique; les cristaux en donnent plus de 20 p. 100.

D'après cette réaction, M. Schneider considère la masse fondue comme du sulfure BiS^3, tenant en dissolution ignée du bismuth métallique.

Le trisulfure BiS^3 peut se volatiliser quand il est chauffé au rouge sombre, à l'abri de l'air, et donner par refroidissement des cristaux soyeux. Il se décompose à une température peu supérieure au rouge sombre.

Kupferwismutherz. — Le minéral ainsi nommé par les savants allemands contient :

Soufre.	16,15
Bismuth.	51,83
Cuivre.	31,31
	99,29

Ces nombres conduisent à la formule $2cu^2s + BiS^3$. M. Schneider pense avoir démontré que le sulfure BiS^3 est un mélange de métal et de trisulfure ; d'après cela, le minéral proposé contient : le sulfure de cuivre, cu^2s ; le sulfure de bismuth, BiS^3, et du bismuth métallique. Ce dernier peut être mis en évidence en traitant le minéral par l'acide chlorhydrique, à l'abri du contact de l'air. L'acide sépare plus de 16 p. 100 de bismuth métallique.

Composé renfermant : soufre, chlore, bismuth.

M. Schneider a obtenu le sulfochlorure $Bicl^3 + 2BiS^3$ en cristaux blancs et en aiguilles cristallines par trois procédés peu différents :

1° On fond, à l'abri du contact de l'air, 8 ou 10 parties de chlorure ammoniacal de bismuth, avec 1 partie de soufre ; on laisse refroidir, et on traite par l'acide hydrochlorique très-étendu. La partie insoluble est le sulfochlorure en aiguilles cristallines blanches ;

2° On fait arriver un courant d'hydrogène sulfuré sec sur du chlorure ammoniacal de bismuth, chauffé à 300°, dans un tube de porcelaine. On élève progressivement la température jusqu'au rouge sombre, et on laisse refroidir. En traitant par l'acide hydrochlorique étendu, on sépare les aiguilles cristallines du sulfochlorure ;

3° On chauffe jusqu'à fusion, dans un ballon de verre, du chlorure ammoniacal de bismuth, et on projette par parties du sulfure de bismuth ; l'action est très-vive, et donne encore les mêmes cristaux blancs de sulfochlorure $Bicl^3 + 2BiS^3$.

Sur l'extraction d'un éther du gaz oléfiant, par M. G. Magnus.

Annales de Poggendorf, t. CX, 1re partie, p. 1.

Lorsqu'on fait passer du gaz oléfiant bien pur à travers un tube de porcelaine chauffé jusqu'au rouge blanc, le gaz est complétement décomposé en hydrogène et en carbure. Si, au contraire, on chauffe seulement au rouge sombre, la décompo-

sition est moins complète; on produit l'éther, qui se rassemble en gouttelettes sur les parois du tube. Les gaz qui sortent du tube contiennent : du gaz des marais, de l'hydrogène, des vapeurs d'éther, et du gaz oléfiant non décomposé.

L'éther obtenu a des propriétés différentes, suivant la température à laquelle il a été produit. Il contient :

Carbone.	93,75
Hydrogène.	6,25

Ces nombres conduisent à la formule $c^5.H^2$, composition peu différente de celle de la naphtaline.

Remarque sur les acides niobique, pelopique et tantalique, par M. H. Rose.

Annales de Poggendorf, t. XC, p. 456.

M. H. Rose a indiqué autrefois des différences très-notables entre les trois acides : niobique, pelopique et tantalique. Plus tard, il a trouvé de grandes analogies entre l'acide pelopique et l'acide tantalique, et signalé les différences de l'acide niobique avec les deux autres acides. Les travaux récents du savant chimiste lui permettent de conclure que les deux acides pelopique et niobique appartiennent à un même métal, tandis que l'acide tantalique est réellement différent des deux autres.

En raison de ces divergences, il est prudent d'attendre qu'une étude plus approfondie ait été faite.

Sur les acétates d'alumine, par M. Walter Crum.

Annalen der chemie und pharmacie, nouvelle série, t. XIII, p. 156.

L'acétate d'alumine obtenu par double décomposition renferme l'acide et la base dans la proportion de 2 équivalents d'acide acétique pour 3 équivalents d'alumine. On peut avoir l'acétate combiné avec 2, 4 et 5 équivalents d'eau, suivant la température à laquelle on fait l'évaporation. M. W. Crum, en étudiant l'acétate d'alumine, a constaté pour l'alumine hydratée la propriété très-remarquable d'être soluble dans l'eau.

Pour obtenir l'alumine soluble, il faut maintenir à la température de l'ébullition, dans un vase fermé, et pendant dix jours consécutifs, une dissolution d'acétate d'alumine contenant 1 partie d'alumine pour 200 parties d'eau. L'action prolongée de la chaleur sépare complétement l'acide de la base;

l'acide peut être volatilisé par une évaporation à température modérée, et on obtient une liqueur contenant l'alumine hydratée en dissolution dans l'eau.

En évaporant à sec à douce chaleur, on a l'alumine $Al^2O^3 + 2Ho$, sous forme d'une masse gommeuse, entièrement soluble dans l'eau, dans les acides et dans les alcalis.

Nouvelle méthode volumétrique d'une application très-générale, par M. Bunsen.

Annalen der chemie und pharmacie, t. XIII, p. 265.

La méthode nouvelle proposée par M. Bunsen est fondée sur l'action de l'iode et de l'acide sulfureux sur l'eau. Dans une dissolution très-étendue d'acide sulfureux, contenant 0,04 p. 100 d'acide, l'iode libre agit immédiatement et donne de l'acide iodhydrique et de l'acide sulfurique. Il est indispensable que la dissolution soit très-étendue, car l'acide sulfurique décompose facilement l'acide iodhydrique, dans des liqueurs contenant une proportion un peu forte des deux acides.

M. Bunsen emploie trois liqueurs titrées :

1° Une dissolution d'acide sulfureux, renfermant environ 0,03 p. 100 d'acide ;

2° Une dissolution d'iode dans l'iodure de potassium, contenant $0^g,0025$ d'iode par degré de la burette ;

3° Une dissolution d'iodure de potassium, contenant 1 gramme d'iodure pour 10 centimètres cubes d'eau.

On peut employer l'iode du commerce pour préparer la dissolution titrée d'iode dans l'iodure de potassium ; mais l'iode du commerce contenant toujours du chlore, il faut évaluer la proportion d'iode pur correspondante.

On pèse A d'iode du commerce, qui contient x d'iode et y de chlore ; on le dissout à froid dans l'acide sulfureux étendu ; on précipite par le nitrate d'argent ; on pèse le chlorure et l'iodure d'argent ; soit B leur poids.

On peut poser les deux équations :

$$x + y = A \quad \frac{Ag + I}{I} x + \frac{Ag + cl}{cl} y = B.$$

Désignant par α, β les deux rapports $\frac{Ag + I}{I}$ et $\frac{Ag + cl}{cl}$, on tire, pour la valeur de y,

$$y = \frac{B - \alpha A}{\beta - \alpha}.$$

Le poids A d'iode du commerce correspond à

$$A - y + \frac{I}{cl}\left(\frac{B - \alpha A}{6 - \alpha}\right).$$

Si on désigne par a le poids d'iode du commerce pesé pour la dissolution titrée, et que contient un degré de la burette, il répond en iode pur à un poids a', donné par la formule

$$a' = a + \frac{\alpha}{A}\left(\frac{B' - \alpha A}{6 - \alpha}\right)\left(\frac{I}{cl} - 1\right).$$

Détermination de l'iode. —Pour appliquer la méthode volumétrique au dosage de l'iode réel contenu dans l'iode de commerce, on en dissout un poids connu dans de l'iodure de potassium; on obtient une liqueur brune, qu'on décolore en faisant agir un excès d'acide sulfureux de la dissolution titrée. Soit n le nombre des divisions employées. Pour évaluer cet excès, on ajoute un peu d'amidon à la liqueur décolorée, et on verse goutte à goutte la dissolution titrée d'iode, jusqu'au moment où l'amidon se colore en bleu; soit t' le nombre des divisions de la dissolution d'iode, et a la quantité d'iode pur que renferme chaque division. Désignant par at le poids d'iode pur qui correspond à chaque division de la dissolution titrée d'acide sulfureux, on aura :

$$x + at' = ant;$$

d'où

$$x = a(nt - t'),$$

x étant la quantité d'iode pur contenu dans le poids considéré de l'échantillon proposé. Par conséquent, si on prend pour l'analyse un poids précisément égal à 100 a, la proportion de l'iode en centièmes sera donnée par la relation

$$x = (nt - t').$$

Détermination du chlore. — On peut doser très-rapidement le chlore dans une substance donnée, en le dégageant et le faisant agir sur de l'iodure de potassium. Il met en liberté une quantité proportionnelle d'iode, qui peut être évaluée par la méthode précédemment indiquée.

Soit A le poids de la substance proposée, sur lequel on opère ; soit x la quantité de chlore contenue :

$$x = \frac{cl}{I}\, a(nt - t');$$

en centièmes la proportion de chlore serait :

$$\frac{100}{A} \cdot \frac{cl}{I} a(nt - t').$$

Il serait donc commode de prendre $A = 100a \frac{cl}{I}$; car dans ce cas, la proportion du chlore, en centièmes, serait donnée par $(nt - t')$.

Détermination du brome. La même méthode est applicable au dosage rapide du brome, dans les cas où il est possible de le dégager facilement de ses combinaisons et de le faire agir sur l'iodure de potassium. En conservant la notation précédente, la quantité de brome sera $\frac{Br}{I} a(nt - t')$. La proportion du brome, en centièmes, sera encore donnée par $(nt - t')$, si on prend :

$$A = 100\, a \frac{Br}{I}.$$

Mélange de chlore et d'iode. — Le dosage du chlore et de l'iode exige deux opérations : dans l'une on détermine l'iode en le précipitant à l'état d'iodure de palladium, avec les précautions ordinaires ; dans l'autre, on évalue, par la méthode volumétrique, la quantité d'iode qui correspond à la somme du chlore et de l'iode contenus dans la substance proposée.

Désignant par y et x les poids d'iode et de chlore qu'il s'agit d'évaluer, on obtient la valeur de y par le poids de l'iodure de palladium ; le poids x est donné par l'équation :

$$\frac{I}{cl} x + y = a(nt - t');$$

Chlore et brome. — Supposons du brome contenant du chlore. On opère sur un point A, qui renferme x de brome et y de chlore ; on fait agir sur de l'iodure de potassium, et on détermine par la méthode volumétrique le poids d'iode qui correspond au brome et au chlore. On a, pour calculer les deux inconnues x, y, les deux relations :

$$x + y = A - . \frac{I}{Br} x + \frac{I}{cl} y = a(nt - t').$$

Chlorites et hypochlorites. — Pour évaluer la proportion de l'un de ces deux sels oxygénés du chlore, on fait agir leur dis-

solution sur de l'iodure de potassium ; on acidifie par l'acide hydrochlorique, et on détermine l'iode mis en liberté.

La proportion, en centièmes, de l'acide chloreux ou de l'acide hypochloreux, sera donnée par l'une des deux formules suivantes, dans lesquelles A représente le poids de la dissolution sur laquelle on opère.

$$x = \frac{100\, clo^3}{A.4I'}\, a(nt - t'),$$

$$x = \frac{100\, clo}{A.2I}\, a(nt - t').$$

Acide sulfureux et hydrogène sulfuré. — La même méthode volumétrique peut servir pour évaluer la proportion d'acide sulfureux ou d'hydrogène sulfuré contenue dans une dissolution très-étendue d'eau, de volume P. On opère sur une fraction p du volume total ; on ajoute un peu d'amidon, et on verse progressivement la dissolution titrée d'iode nécessaire pour déterminer la transformation complète de l'acide sulfureux ou la décomposition totale de l'hydrogène sulfuré. La fin des deux réactions est indiquée par la coloration bleue de l'amidon. Soit at la quantité d'iode employée.

Les proportions d'acide sulfureux et d'hydrogène sulfuré contenues dans le volume P sont :

$$\frac{P}{p} \cdot \frac{So^3}{I}\, at, \qquad \frac{P}{p} \cdot \frac{HS}{I}\, at.$$

Chromates. — Pour évaluer l'acide chromique contenu dans un poids A d'un sel donné, on traite par l'acide hydrochlorique, en faisant passer le chlore qui se dégage dans une dissolution étendue d'iodure de potassium. On détermine ensuite l'iode mis en liberté par la méthode générale précédemment indiquée. Trois équivalents d'iode correspondent à deux équivalents d'acide chromique. Le poids de l'acide chromique contenu dans le sel A est donc :

$$\frac{2cro^3}{3I}\, a(nt - t').$$

Pour avoir, sans calculs et en centièmes, la proportion d'acide chromique, il suffirait d'opérer sur un poids A, tel que :

$$A = 100\, \frac{2cro^3}{3I}\, a.$$

La proportion d'acide chromique serait alors égale au nombre $nt - t'$.

Si on considère du bichromate de potasse, et si on opère sur un poids $A = 100 \left(\frac{ko + 2cro^3}{3I}\right) a$, la même différence $(nt - t')$ donnera en centièmes la proportion de bichromate pur.

Réciproquement, en opérant sur du bichromate de potasse bien pur, on a le moyen de vérifier la pureté de l'iode du commerce, et de déterminer la quantité a d'iode contenue dans un degré de la burette, qui renferme la dissolution titrée :

$$a = \frac{3.I.A}{(ko + 2cro^3)(nt - t')}.$$

Chlorates. — En décomposant un poids A de chlorate par l'acide hydrochlorique, on produit du chlore dans la proportion de 6 équivalents de chlore pour 1 équivalent d'acide chlorique. On fait agir le chlore mis en liberté sur une dissolution convenablement étendue d'iodure de potassium, et on détermine l'iode par la méthode volumétrique. Le poids A contient en acide chlorique :

$$\frac{clo^5}{6.I} a(nt - t').$$

La proportion de l'acide chlorique en centièmes est :

$$\frac{100}{A} \cdot \frac{clo^5}{6I} a(nt - t') ;$$

ou bien $(nt - t')$ si on prend $A = 100 \frac{clo^5}{6I} a$.

Peroxydes. — Plusieurs peroxydes dégagent du chlore quand on les traite par l'oxyde hydrochlorique, plus ou moins concentré ; d'autres peuvent dégager de l'oxygène ou du chlore, suivant le degré de concentration de l'acide ; quand on opère en présence de l'iodure de potassium, il y a toujours un équivalent d'iode mis en liberté pour chaque équivalent d'oxygène contenu dans le peroxyde en sus de la quantité nécessaire pour former le protoxyde. L'iode mis en liberté peut être évalué très-rapidement par la méthode volumétrique, qui, par suite, est également applicable au dosage des peroxydes.

Mélange des deux oxydes de fer. — En chauffant un mélange des deux oxydes de fer avec un poids p de bichromate de potasse

pur, et traitant ensuite par l'acide hydrochlorique, il se dégage du chlore en quantité d'autant moindre, que la proportion de protoxyde de fer est plus forte dans le mélange proposé. On détermine l'iode correspondant au chlore toujours par la même méthode volumétrique.

Soit $a(nt - t')$ cette quantité d'iode.

La différence avec le poids d'iode que donnerait le poids p de bichromate de potasse, $p \frac{3I}{ko + 2cro^3}$, indique le poids d'iode qui correspond à la transformation du protoxyde de fer en peroxyde ; la proportion de protoxyde de fer dans le mélange proposé est donc :

$$\frac{2fe}{I}\left(\frac{3I}{ko + 2cro^3} - a(nt - t')\right).$$

La même méthode peut servir au dosage du fer dans un minerai, ou dans une substance donnée. On prépare une dissolution hydrochlorique contenant tout le fer ; on le ramène au minimum par une digestion plus ou moins longue avec de l'acide sulfureux ; on chasse l'acide sulfureux par une douce chaleur, et on procède au dosage du protoxyde comme il vient d'être indiqué.

Les mêmes opérations sont applicables à la détermination de l'acide arsénieux et des arsénites.

Préparation du chrome métallique ; par M. Bunsen.

Annalen der chemie und pharmacie, nouvelle série, t. XIII, p. 354.

M. Bunsen a obtenu du chrome à l'état métallique, en décomposant un sel de chrome par une pile très-énergique et en même temps très-simple.

Le pôle positif est un creuset de charbon, rempli d'acide chlorhydrique, et chauffé dans un grand creuset en porcelaine. La dissolution de chrome est placée dans un vase poreux, au centre du creuset de charbon. Le pôle négatif est une lame de platine, plongée dans la dissolution de chrome. La pile ainsi disposée est très-simple, et son énergie est telle qu'elle décompose rapidement toutes les dissolutions métalliques.

En modérant son énergie, M. Bunsen a obtenu de l'oxydule de chrome, inattaquable aux acides.

Recherches sur l'acide tannique; par M. A. STRECKER.

Annalen der chemie und pharmacie, nouvelle série, t. XIV, p. 229.

M. Strecker a déjà observé, en 1851, que l'acide tannique peut, dans certaines circonstances, se transformer en acide gallique et en glucose. Ses nouvelles recherches complètent cette première observation.

La transformation peut avoir lieu sous l'influence de l'acide sulfurique de force moyenne (1 p. acide pour 5 p. eau), des alcalis et des ferments. Avec l'acide sulfurique on doit opérer de la manière suivante : on précipite par l'acide sulfurique une dissolution de tannin dans l'eau. Le précipité est mis en digestion dans de l'acide sulfurique, de la force indiquée précédemment, 1 p. d'acide et 5 p. d'eau, et on maintient pendant plusieurs heures à la température de l'ébullition. On laisse refroidir et on sature l'acide sulfurique par le carbonate de plomb; on sépare ensuite l'acide gallique par l'acétate de plomb, et le plomb par l'hydrogène sulfuré. Après filtration, on chauffe pour chasser l'hydrogène sulfuré, et pour assembler le soufre. On filtre de nouveau et on évapore à sec, sous le récipient de la machine pneumatique. Le résidu a toutes les propriétés du glucose.

M. Strecker a fait de nombreuses expériences pour déterminer la formule de l'acide tannique. Il a préparé l'acide très-pur en mettant le tannin en contact avec de l'eau et de l'éther, en évaporant la dissolution aqueuse et soumettant le résidu au même traitement.

Le produit ainsi purifié, séché à 125° environ, a donné à l'analyse les résultats suivants :

Carbone...	52,50	52,20	52,20	52,20	52,20	52,20	52,10	52,20	52,20	52,20
Hydrogène..	3,80	3,80	3,70	3,70	3,60	3,90	3,80	3,60	3,50	3,70
Oxygène...	43,70	44,00	44,10	44,10	44,20	43,80	44,10	44,10	44,20	44,00
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Les deux conditions auxquelles doit satisfaire les formules du tannin, sont :

1° Concorder avec les nombres des analyses précédentes;

2° Permettre d'expliquer la transformation en acide gallique et en glucose.

La formule $C^{54}H^{22}O^{34}$ remplit ces deux conditions. Elle donne la composition :

Carbone.	52,40
Hydrogène.	3,60
Oxygène.	44,00

qui diffère très-peu des nombres obtenus par l'analyse.

La transformation est expliquée par la formule :

$$C^{54}H^{22}O^{34} + 8HO = 3(C^{14}H^{6}O^{10}) + C^{12}H^{12}O^{12}$$

d'après cette formule on devrait obtenir 29,10 p. 100 de glucose par la transformation complète de l'acide tannique. M. Strecker a obtenu directement 22 p. 100 de glucose.

L'acide tannique est tribasique ; la plupart des sels ont pour composition :

$$C^{54}H^{22}O^{34}3MO$$

avec l'oxyde de plomb il forme deux composés, qui renferment 6 et 10 équivalents d'oxyde de plomb pour un équivalent d'acide.

Le tannin, précipité par les acides de sa dissolution dans l'eau, entraîne toujours une notable proportion de l'acide précipitant, sans qu'il y ait combinaison définie. La nature chimique de ces précipités est encore inconnue.

L'acide gallique est également tribasique, d'après M. Strecker, bien que le gallate de plomb contienne 4 équivalents de base

$$4PbO + C^{14}H^{3}O^{7}.$$

L'acide gallique hydraté a pour composition :

$$C^{14}H^{3}O^{7} + 3HO.$$

Recherches sur la préparation du tellure en grand ; par M. Alexandre Lœwe, membre correspondant de l'Académie impériale des sciences de Vienne, etc., etc.

M. A. Lœwe occupe à Vienne une position des plus élevées dans la science. Directeur des essais des monnaies et des substances minérales de l'empire autrichien, il s'est vivement préoccupé de la perte du tellure, qui se présente en proportion considérable dans les minerais d'or de Zalathna en Transylvanie. Ces minerais sont fondus à Nagyag par une méthode qui perd en même temps tout le tellure et la plus grande

partie du plomb. Le gouvernement autrichien a fait faire successivement en 1841, 1844, 1847-1848 des essais pour retirer le tellure sans perdre l'or et l'argent. Ces essais n'ont conduit à aucun résultat pratique.

M. Lœve s'est arrêté au procédé suivant :

Le minerai contenant : or, argent, plomb, tellure avec gangues quartzeuses et calcaires, est traité par l'acide hydrochlorique faible qui dissout le carbonate de chaux. La partie insoluble est chauffée à plus de 100°, dans une chaudière de fonte, avec de l'acide sulfurique concentré.

Quand l'attaque est complète, on laisse refroidir, et on décante la liqueur acide dans un vase contenant un volume d'eau considérable et une petite quantité d'acide hydrochlorique.

On laisse déposer le chlorure d'argent et le sulfate de plomb ; le précipité bien lavé est traité, par voie sèche, pour plomb et argent.

La liqueur acide contenant le tellure est précipitée par une lame de zinc : le précipité est fondu avec du borax et du charbon.

On obtient ainsi du tellure impur, qui peut être purifié par distillation dans un courant d'hydrogène.

Cette méthode permet de retirer du minerai :

L'or dans la partie insoluble dans les acides ;

L'argent dans le dépôt formé dans la première liqueur acide décantée ;

Et le tellure dans le précipité produit par une lame de zinc.

Les frais sont peu élevés, et le procédé peut être appliqué à de grandes quantités de minerais.

Nouvelle méthode générale d'analyse; par M. H. Sainte-Claire Deville.

Annales de chimie et de physique, 3e série, t. XXXVIII, p. 5.

M. Deville obtient un certain nombre de séparations en opérant dans des liqueurs contenant l'acide azotique comme seul acide, évaporant à sec et chauffant à une température modérée.

Dans ces circonstances, les azotates de fer, de manganèse, d'alumine, de cobalt, de nickel, de bismuth, etc., se décomposent, et les métaux restent combinés avec l'oxygène seul,

à l'état de peroxydes insolubles dans l'eau. Pour montrer par un exemple de quelle manière cette propriété peut être utilisée, considérons une dissolution azotique contenant :

Alumine, oxyde de fer, chaux, magnésie, alcalis.

La dissolution est évaporée jusqu'à sec, et le résidu chauffé à 200°, tant qu'il se dégage des vapeurs acides. La matière desséchée contient alors :

L'alumine; le peroxyde de fer; de la chaux et de la magnésie provenant des azotates partiellement décomposés; des azotates de chaux et magnésie, et les azotates alcalins.

On la fait chauffer à l'ébullition avec une dissolution concentrée d'azotate d'ammoniaque, jusqu'au moment où il ne se dégage plus d'ammoniaque.

Par ce moyen on fait passer à l'état d'azotates la chaux et la magnésie, provenant des sels décomposés pendant l'évaporation, et on dissout les azotates non décomposés. L'alumine et le peroxyde de fer restent seuls bien insolubles.

La séparation de l'alumine et du peroxyde de fer est faite par M. Deville par un procédé nouveau, fondé sur l'action de l'acide hydrochlorique gazeux sur les métaux et les oxydes métalliques. Cet acide bien sec n'agit que sur les métaux et sur les oxydes qui sont réductibles par l'hydrogène.

L'alumine et le peroxyde de fer sont pesés ensemble dans une nacelle en platine; on les dispose dans un tube en platine, légèrement incliné, et traversant un fourneau à réverbère. On préserve le platine du contact des charbons en le plaçant dans un tube de porcelaine. On commence par chasser l'air de l'appareil par un courant d'hydrogène bien sec, puis on fait arriver l'acide hydrochlorique gazeux, également bien desséché, et on chauffe jusqu'au rouge. L'alumine reste seule dans la nacelle, le fer à l'état de protochlorure est entraîné dans le tube à une certaine distance. Quand l'action est terminée, on laisse refroidir; on retire la nacelle, et on pèse l'alumine. On retire le chlorure de fer du tube en faisant passer un courant de vapeur d'eau, chargée d'une petite proportion d'acide hydrochlorique, et on recueille le chlorure de fer dans un vase convenablement disposé à l'extrémité du tube. On peroxyde le fer et on le précipite par l'ammoniaque.

Magnésie et alcalis. — L'analyse est conduite de manière à ce que les bases soient combinées seulement à l'acide azotique.

A la dissolution on ajoute de l'acide oxalique en cristaux, et on chauffe sur la lampe à alcool jusqu'à ce que tout l'acide azotique soit expulsé. On transforme ensuite facilement les oxalates en carbonates, et on traite par l'eau. Les carbonates alcalins se dissolvent, tandis que la magnésie reste seule dissoluble.

Analyse des silicates inattaquables aux acides. — M. Deville conseille pour l'attaque des silicates l'emploi de la chaux caustique, en très-faible proportion, à une température assez élevée pour déterminer la fusion parfaite.

Le silicate porphyrisé est placé dans un creuset taré ; on le fait digérer avec un peu d'acide azotique, on sèche et on calcine. On place au-dessus de la matière demi-partie de carbonate de chaux parfaitement pur, on chauffe à 200°, puis on mélange aussi bien que possible. On élève assez la température pour que le carbonate de chaux perde entièrement son acide carbonique, et on pèse. On a de cette manière le poids exact de la chaux ajoutée et des parties fixes du silicate, dans lequel les éléments peroxydables ont été portés au maximum par l'action de l'acide azotique.

On chauffe ensuite jusqu'à fusion parfaite, sur une lampe à courant d'air forcé de l'invention de M. Deville, alimentée par de l'alcool saturé d'essence de térébenthine. On vérifie le poids après fusion ; il ne doit pas avoir varié si toutes les opérations ont été bien conduites : c'est une vérification utile, surtout quand on analyse des silicates renfermant des alcalis.

On détache facilement la matière fondue du creuset, on la porphyrise dans un mortier d'agate, et on pèse exactement la quantité sur laquelle on fait l'analyse.

La matière porphyrisée est attaquée par l'acide azotique, on évapore à sec, et on reprend par le même acide. On procède ensuite à l'analyse, en séparant l'alumine et le peroxyde de fer des bases alcalines et alcalino-terreuses par la méthode précédemment exposée.

La proportion du carbonate de chaux qu'il convient d'employer dépend de la nature du silicate : M. Deville indique les nombres suivants :

	carb. de chaux.
Roches feldspathiques.	0,30
Feldspath..	0,40
Disthène, silicates d'alumine.	0,70
Corindon, aluminates.	0,80

La température nécessaire pour obtenir la fusion bien complète est d'autant plus élevée qu'on a employé une proportion de chaux plus considérable.

M. Deville insiste particulièrement, dans son mémoire, sur le mode de préparation et de purification des réactifs employés.

Note sur la chaleur spécifique du phosphore rouge ; par M. V. Regnault.

Annales de chimie et de physique, 3e série, t. XXXVIII, p. 129.

M. Regnault a déterminé la chaleur spécifique sur un échantillon de phosphore rouge, pesant environ 100 grammes, qui lui avait été envoyé par M. Schrœtter. Cette substance, exposée à l'air pendant plusieurs jours, ne change pas de poids ; elle ne communique à l'eau aucune réaction acide.

Le procédé employé pour la détermination de la chaleur spécifique du phosphore rouge, est celui décrit par M. V. Regnault dans les Annales de chimie et de physique (2e série, tome 73, page 19) :

Phosphore rouge.			0.16981	Regnault.
Phosphore ordinaire,	entre	— 77°,75 et + 10°	0,1740	Regnault.
— —	entre	— 21° et + 7°	0,1788	Person.
— —	entre	+ 10° et + 30°	0,1887	Regnault.
Phosphore liquide. . .	entre	+ 45° et + 50°	0,2006	Ed. Desains.
— —	entre	+ 44°,20 et + 51°	0,2045	Person.

Les densités du phosphore, sous ces trois états, sont :

Phosphore ordinaire solide.	à + 10°	1,83
— — liquide. . . .	à + 45°	1,88
Phosphore rouge en poudre.	à + 10°	1,99

De ces expériences il résulte que le phosphore rouge a une densité plus grande et une chaleur spécifique plus faible que celles du phosphore ordinaire.

Équivalent du phosphore ; par M. Schrœtter.

Annales de chimie et de physique, 3e série, t. XXXVIII, p. 131.

L'équivalent du phosphore a été déterminé par un assez grand nombre de chimistes. Lavoisier l'a fixé à 26 (en prenant l'hydrogène pour unité) ; M. H. Rose à 35 ; Berzélius à 31,166 et 31,176 ; M. Pelouze à 32,024.

M. Schrötter a fait la détermination de l'équivalent du phosphore, en pesant l'acide phosphorique anhydre provenant

de la combustion d'un poids connu de phosphore rouge. La moyenne de dix expériences concordantes lui a donné 31,0274 ou 387,50, en prenant pour l'équivalent de l'oxygène le nombre ordinaire o = 100.

M. Schrötter pense avoir démontré que le corps, qui a été considéré jusqu'à présent comme de l'oxyde de phosphore, n'est pas autre chose que du phosphore rouge, mélangé d'un peu de phosphore ordinaire.

Recherches sur le didyme et ses principales combinaisons; par M. Marignac.

Annales de chimie et de physique, 3e série, t. XXXVIII, p. 148.

M. de Marignac a déjà publié dans les *Annales de chimie et de physique* ses recherches sur les métaux contenus dans la cerite; dans ses nouvelles publications il considère spécialement le didyme.

Pour extraire l'oxyde de didyme de la cerite, M. Marignac emploie le procédé qu'il a décrit précédemment, avec la différence qu'il commence par séparer le lantane. En opérant par précipitations successives, dans une liqueur azotique, par l'oxyde oxalique, on obtient chaque fois dans les premiers précipités une proportion plus forte d'oxyde de didyme. La séparation complète par la cristallisation des sulfates est par là rendue bien plus facile.

M. Marignac détermine l'équivalent du didyme, en dosant séparément dans le sulfate pur et bien desséché, l'acide sulfurique et l'oxyde de didyme.

Ces expériences donnent :

$$DiO = 698,20.$$

En opérant sur le chlorure, l'auteur a obtenu un nombre un peu différent :

$$DiO = 700,20.$$

On peut prendre l'équivalent du métal, Di = 600.

Le didyme s'obtient à l'état métallique en chauffant le chlorure avec du potassium, dans un tube fermé par une de ses extrémités, et traitant ensuite par l'eau très-froide.

Préparé de cette manière il est sous forme de poudre grise, peu homogène, décomposant assez facilement l'eau avec dégagement d'hydrogène.

Oxyde, DiO. — L'oxyde de didyme est blanc, indécomposable par la chaleur, irréductible par l'hydrogène; imprégné d'acide azotique et chauffé doucement, il devient brun en se transformant en un suroxyde mal défini, lequel est facilement réduit et devient blanc par une forte calcination.

Il forme avec l'eau un hydrate blanc, DiO.HO, qui renferme :

Oxyde de didyme.	86,15
Eau.	13,85

Il se dissout dans tous les acides et paraît être une base un peu moins énergique que l'oxyde de lantane.

Caractères des sels de didyme. — Les sels sont roses ou violacés, les dissolutions sont roses ou incolores.

Les alcalis et les carbonates alcalins les précipitent en blanc.

L'hydrosulfate d'ammoniaque donne un précipité blanc d'hydrate et non pas de sulfure.

Le carbonate de Baryte en poudre précipite entièrement le didyme, même à froid.

L'acide oxalique et les oxalates précipitent l'oxyde à l'état d'oxalate dans les liqueurs peu acides. Dans les dissolutions très-acides la précipitation n'est pas complète.

Les sulfates alcalins donnent des précipités roses de sulfates doubles, peu solubles dans l'eau, et presque complétement insolubles dans les dissolutions saturées de sulfates alcalins.

Au chalumeau l'oxyde de didyme colore en rose le borax et le sel de phosphore, mais ne colore pas le carbonate de soude.

Suroxyde. — Le suroxyde brun perd son excès d'oxygène par une forte calcination et sous l'influence des acides, même les plus faibles. Il est impossible de lui assigner une formule : il paraît ne renfermer qu'une proportion d'oxygène très-peu supérieure à celle que contient le protoxyde.

Sulfure, DiS. — On le prépare en chauffant l'oxyde dans un tube de porcelaine, dans lequel on fait arriver un mélange d'hydrogène et de sulfure de carbone. Il est vert un peu brun; il se décompose lentement dans l'eau et rapidement en présence des acides, avec dégagement d'hydrogène sulfuré.

Chlorure, DiCl. — Le chlorure est soluble dans l'eau et dans l'alcool. — La solution aqueuse est rose; elle donne par évaporation des cristaux hydratés, déliquescents : ce sont des prismes rhomboïdaux obliques de 78°; la base est inclinée de 92° sur les faces du prisme; leur formule est :

$$DiCl + 4HO.$$

Il est impossible d'évaporer à sec une dissolution de chlorure de didyme sans le décomposer partiellement; le résidu est un oxychlorure dont la composition est variable avec la rapidité de l'évaporation; on obtient assez facilement l'oxychlorure :

$$DiCl + 2DiO + 5HO.$$

Azotate. — La dissolution d'azotate est rose; elle donne des cristaux hydratés, déliquescents, qui perdent leur eau à la température de 300°. L'azotate est soluble dans l'alcool, mais il est insoluble dans l'éther.

Phosphate, $PO^5 + 3DiO + 2HO$. — Il est insoluble dans l'eau, peu soluble dans les acides forts, et perd son eau par calcination.

Arséniate, $2ASO^3 + 5DiO + 2HO$. — Ses propriétés sont à peu près les mêmes que celles du phosphate.

Carbonate. — On peut le préparer par double décomposition : $CO^2\ DiO + 2HO$. Chauffé à 100° il perd les trois quarts de son eau, mais en même temps une partie de son acide carbonique.

Sulfite. — L'acide sulfureux, employé en excès, dissout assez facilement l'oxyde de didyme, même après calcination. Si on chasse l'acide en excès par ébullition, on précipite complétement le sulfite, $SO^2\ DiO + 2HO$, qui est insoluble dans l'eau non chargée d'acide sulfureux.

Sulfate. — Le sulfate cristallisé par évaporation lente a pour formule $3(SO^3\ DiO) + 8HO$. — Si on fait cristalliser à la température de 100°, on obtient :

$$SO^3\ DiO + 2HO.$$

Chauffés à 200° ces deux sulfates perdent la totalité de l'eau de cristallisation; le sulfate anhydre n'abandonne pas d'acide sulfurique au rouge : au rouge vif l'oxyde de didyme retient encore de l'acide sulfurique et forme un sulfate basique, blanc, $SO^3\ 5DiO$, insoluble dans l'eau.

Les solubilités des sulfates diminuent à mesure que la température est plus élevée, mais présentent des différences assez grandes pour la même température.

100 parties d'eau dissolvent en sulfate supposé anhydre :

	Sulfate anhydre. parties.	Sulfate à 2 équiv. d'eau.	Sulfate ordinaire.
à 12°.....	43,10	»	»
à 14°.....	39,30	»	»
18°.....	25,80	16,40	»
19°.....	»	»	11,70
25°.....	20,60	»	»
38°.....	13,00	»	»
40°.....	»	»	8,80
50°.....	11,00	»	6,50
100°.....	»	»	1,70

Sulfates doubles. — Le sulfate de didyme a une grande tendance à former des sels doubles avec les sulfates alcalins : celui d'ammoniaque est peu soluble dans une dissolution saturée de sulfate d'ammoniaque ; ceux de potasse et de soude sont presque complétement insolubles dans l'eau saturée de sulfates alcalins. Les compositions des trois sels doubles sont représentées par les formules :

$$SO^3\ AzH^4O + 3(SO^3\ DiO) + 8HO.$$
$$SO^3\ NaO + 3(SO^3\ DiO) + Aq.$$
$$SO^3\ KO + 3(SO^3\ DiO) + 2HO.$$

Oxalate, $C^2O^3\ DiO + 4HO$. — Il est blanc, insoluble dans l'eau et peu soluble dans les acides forts ; il perd 3 équivalents d'eau quand on le chauffe à 100°, et devient :

$$C^2O^3\ DiO + HO.$$

Mémoire sur la valeur des grains alimentaires; par M. Jules Reiset.

Annales de physique et de chimie, 3e série. t. XXXIX, p. 22.

Les grains qui pèsent le plus sous un même volume sont considérés, en général, comme ayant une valeur plus grande que ceux dont la densité est moindre.

Ce fait est justifié, au moins pour le blé, par la présence d'une proportion plus forte de matières azotées. Pour le blé mesuré à l'hectolitre, le poids dépend de plusieurs causes différentes :

1° Du procédé de mesurage ;

2° De la densité réelle ;

3° De la forme des grains ;

4° De l'état d'hydratation.

Ainsi le poids d'un hectolitre de blé varie de 76 à 80 kilogr., suivant le degré de tassement.

La densité réelle des grains a une influence sensible, mais variable, car on ne trouve pas de relation constante entre le poids d'un hectolitre de blés différents, mesurés de la même manière, et leur densité réelle prise au volumenomètre de M. Regnault.

La forme des grains doit évidemment influer beaucoup, puisque de cette forme dépend principalement le rapport du plein au vide dans la mesure.

Le blé se gonfle beaucoup en absorbant l'eau hygrométrique, sa densité diminue; par dessiccation les grains perdent bien l'eau absorbée, mais ne reviennent pas à leur dimension première. Cette observation suffit pour montrer quelle influence peut avoir sur le poids d'un volume déterminé la condition hygrométrique à laquelle le blé a été soumis.

Les matières azotées du blé contiennent 16 p. 100 d'azote, comme celles qui se trouvent dans l'organisation animale; par conséquent, le moyen le plus exact de détermination des matières azotées du blé, est de doser l'azote et de calculer ensuite la proportion de ces matières, en admettant qu'elles contiennent 16 p. 100 d'azote. — En opérant ainsi, M. Reiset a trouvé de 11,86 à 14,15 p. 100 de gluten et d'albumine dans plusieurs échantillons de blés. — La proportion des matières azotées paraît augmenter avec la densité des grains.

Mémoire sur les alliages considérés sous le rapport de leur composition chimique; par M. A. Levol (2e partie).

Annales de physique et de chimie, 3e série, t. XXXIX, p. 163.

M. Levol a cherché à déterminer par tâtonnement la composition des alliages, de l'or avec l'argent, de l'or avec le cuivre, de l'argent avec le plomb, qui présentent des proportions définies. Les alliages ont été faits par fusion prolongée et coulés dans un moule sphérique en fonte, donnant des sphères pesant environ 1 kilogramme. Des analyses ont été faites pour chaque alliage sur des échantillons pris au centre et aux différents points de la surface.

Or et argent. — L'hétérogénéité des alliages d'or et d'argent, obtenus par fusion, est connue depuis très-longtemps, au moins depuis 1713.

M. Levol a cherché à produire les quatre combinaisons, représentées par les formules :

$$Au^2 + Ag \quad Au + Ag \quad Au + Ag^2 \quad Au + Ag^{10}.$$

La première contient : or, 645.10; argent, 354.90.

L'analyse indique que la sphère obtenue est parfaitement homogène. Il en est de même des trois autres, qui renferment :

	$Au+Ag$.	$Au+Ag^2$.	$Au+Ag^{10}$.
Or	480	312.50	85,40
Argent.	520	687,50	914,60

Le résultat de ces expériences est qu'on peut considérer comme bien homogènes les alliages d'or et d'argent compris dans les limites précédentes.

Or et cuivre. — Les expériences ont été faites sur les alliages contenant :

	Or.	Cuivre.
$Au^6 + Cu$	925,00	75,00
$Au^3 + Cu$	903,00	97,00
$Au^2 + Cu$	861,20	138,80
$Au + Cu$	726,00	244,00
$Au + Cu^2$	608,00	392,00
$Au + Cu^{10}$	236,80	763,20

On éprouve une grande difficulté pour préserver le cuivre de l'oxydation et combiner les deux métaux bien complétement. Cependant, après plusieurs fusions successives, on arrive à des alliages parfaitement homogènes pour toutes les proportions indiquées.

Argent et plomb. — Il est presque impossible d'obtenir des alliages homogènes de plomb et d'argent; c'est ce qui résulte des expériences faites par M. Levol sur les proportions suivantes :

$Ag^{10} + Pb$; $Ag^6 + Pb$; $Ag^3 + Pb$; $Ag^2 + Pb$; $Ag + Pb$; $Ag + Pb^2$; $Ag + Pb^3$; $Ag + Pb^4$; $Ag + Pb^{10}$; $Ag + Pb^{15}$; $Ag + Pb^{20}$; $Ag + Pb^{100}$.

Recherches sur la congélation et sur l'ébullition des hydrates de l'acide sulfurique; par M. C. DE MARIGNAC.

Annales de physique et de chimie, 3e série, t. XXXIX, p. 184.

Pour déterminer l'acide sulfurique réel contenu dans un acide donné, M. de Marignac emploie un procédé acidimétrique : il détermine la quantité de carbonate de soude pur nécessaire pour saturer complétement l'acide, et considère cette méthode comme plus rapide et même plus exacte que le dosage de l'acide sulfurique à l'état de sulfate de baryte.

En soumettant l'acide anglais, marquant 66° de l'aréomètre, à l'action du froid, on obtient des cristaux d'acide monohydraté, tandis que la liqueur mère renferme de l'acide plus étendu; il résulte de là que l'acide sulfurique anglais, à 66°, n'est pas de l'acide monohydraté, mais bien de l'acide contenant une proportion d'eau un peu plus forte. Les cristaux purifiés par plusieurs congélations successives répondent bien à la formule $SO^3 + HO$; il fond à + 10°,50 : exposé liquide à un froid progressif et dans un repos absolu, il peut rester liquide jusqu'à 0°; par distillation il donne toujours une notable proportion d'acide anhydre, ce qui donne un moyen de préparer l'acide anhydre ou l'acide fumant. On peut également retirer des cristaux d'acide monohydraté, fondant à + 10°,50, en soumettant l'acide fumant à l'action du froid et purifiant les cristaux obtenus par plusieurs congélations successives.

Gay-Lussac et M. Bineau avaient observé déjà qu'il est impossible d'obtenir par la chaleur l'acide sulfurique monohydraté; mais cette impossibilité était attribuée à l'absorption de l'eau par l'acide pendant le refroidissement.

L'acide monohydraté, chauffé progressivement, commence à donner des vapeurs à + 50°; elles augmentent à mesure que la température s'élève jusqu'à l'ébullition, qui a lieu vers 290°; mais le point d'ébullition ne devient stationnaire qu'à 338°, quand tout le dégagement d'acide anhydre a cessé.

La densité de l'acide monohydraté a été trouvée

De	1,854	à la température de	0°
De	1,842	—	12°
De	1,824	—	24°

Ces densités sont rapportées à celles de l'eau distillée, bien pure, à la même température.

L'acide à 2 équivalents d'eau, $SO^3 + 2HO$, donne des cristaux qui fondent seulement à + 8°,50.

L'acide $2SO^3 + HO$ ne fond qu'à + 35°.

Le point de fusion de l'acide anhydre a été indiqué par différents chimistes; les uns le placent vers 25°, les autres vers 100°. Les expériences de M. de Marignac semblent indiquer un dimorphisme de l'acide anhydre. L'acide conservé longtemps solide se volatilise, sans fondre, vers 100°; l'acide récemment préparé entre en fusion à + 18°.

Mémoire sur le dosage de l'ammoniaque contenue dans les eaux; par M. BOUSSINGAULT.

Annales de chimie et de physique, 3e série, t. XXXIX, p. 257.

L'air atmosphérique, l'eau de pluie, les eaux courantes contiennent des proportions très-faibles, mais sensibles, d'ammoniaque, ainsi que le démontrent les expériences de Saussure (1804), celles de Brandes (1825) et celles de MM. Chevreul, Barral et Boussingault.

Pour déterminer l'ammoniaque contenue dans les eaux de pluie, dans les eaux de sources, de rivières, etc., qui toutes en renferment une très-minime proportion, M. Boussingault emploie la méthode suivante :

L'eau est placée dans un ballon avec une petite quantité de potasse bien pure, et portée à l'ébullition jusqu'à ce que la moitié environ ait été volatilisée. Les vapeurs, condensées dans un serpentin, contiennent la presque totalité de l'ammoniaque de l'eau. On dose l'ammoniaque en ajoutant à l'eau condensée un volume connu d'une dissolution titrée d'acide sulfurique et en évaluant la quantité d'une autre dissolution alcaline titrée, nécessaire pour saturer l'acide. La différence entre la quantité trouvée, et celle qui serait nécessaire pour saturer l'acide employé, donne l'équivalent de l'ammoniaque contenue dans l'eau.

M. Peligot, qui, le premier, a proposé cette méthode, emploie, pour la dissolution titrée d'acide sulfurique, 61g,25 d'acide monohydraté par litre de la dissolution. 100 centimètres cubes de la liqueur acide titrée contiennent, par conséquent, 6g,125 d'acide monohydraté, ce qui répond à 2g,120 d'ammoniaque. Il suffit d'employer pour la plupart des eaux 10 centimètres cubes de cette dissolution.

La liqueur alcaline doit être étendue de manière à ce qu'il faille employer une burette entière pour saturer les 10 centimètres cubes de la dissolution acide.

En employant cette méthode, on évalue par *une différence* une proportion très-faible d'ammoniaque, et, par conséquent, il faut une assez grande habitude de ce genre d'opérations pour être certain du résultat.

La méthode a l'avantage d'être très-rapide et permet de doser assez exactement des quantités d'ammoniaque beaucoup plus

faibles que celles qu'on pourrait évaluer à l'état de chlorure double de platine.

Les proportions d'ammoniaque trouvées par M. Boussingault sont les suivantes :

Eaux pluviales.	0,00000072
Eau de rivière.	0,00000018
Eau de source.	0,00000009

L'eau de l'Océan renferme $0^{mg},57$ d'ammoniaque par litre, et la neige $0^{mg},70$.

La neige qui a séjourné sur la terre contient toujours plus d'ammoniaque que la neige au moment de sa chute ; ainsi, pour 1 litre d'eau de neige, M. Boussingault a trouvé :

Neige récemment tombée. . .	$1^{mg},78$
Neige après trente-six heures.	10 ,34

Analyse qualitative et quantitative de l'iode ; par M. Ed. Moride.

Annales de physique et de chimie, 3e série, t. XXIX, p. 428.

L'iode est dissous par la benzine qu'il colore en rouge très-intense ; le chlore et le brome ne sont pas absorbés ; cette propriété fournit un moyen précieux de séparation de l'iode, du brome et du chlore.

Soit, par exemple, une dissolution d'iodure alcalin, renfermant aussi des bromures et chlorures. On ajoute de l'acide hypoazotique en proportion suffisante pour décomposer l'iodure, ensuite de la benzine, et on agite.

Par le repos, la benzine vient nager à la surface et contient la totalité de l'iode. On sépare les deux couches à l'aide d'un entonnoir ; on dose ensuite l'iode en présence de la benzine en le précipitant par l'azotate d'argent.

Mémoire sur le dosage de l'acide azotique accompagné de matières organiques ; par M. Th. Schœsing.

Annales de physique et de chimie, 3e série, t. XL, p. 479.

M. Pelouze a indiqué depuis longtemps un procédé de dosage de l'acide azotique, fondé sur l'action du protochlorure de fer sur l'acide permanganique, et en même temps sur l'action de l'acide azotique sur le protochlorure de fer.

On détermine la proportion d'acide permanganique, décomposé par la liqueur renfermant l'acide azotique, à laquelle on a

ajouté un poids connu de protochlorure de fer. La différence entre cette proportion et celle qu'on aurait dû employer, si l'acide azotique n'avait pas fait passer une partie du fer au maximum, permet d'évaluer la quantité de cet acide azotique.

Cette méthode n'est pas applicable en présence des matières organiques, qui peuvent exercer sur l'acide permanganique une action réductive presque aussi rapide que celle du protochlorure de fer.

M. Schlœsing utilise la réaction de l'acide azotique sur le protochlorure de fer :

$$AzO^5 + 6FeCl + 3Hcl = AzO^2 + FeCl^3 + 3HO.$$

Il recueille le bioxyde d'azote qui provient de cette réaction, le purifie, le transforme en acide azotique par le contact de l'oxygène et de l'eau, et enfin dose l'acide reconstitué par une dissolution titrée de sucrate de chaux.

La liqueur contenant l'acide azotique est placée dans un petit ballon ; on fait bouillir pour chasser l'air ; ensuite on introduit successivement, à l'aide d'un tube recourbé, le protochlorure de fer en dissolution et l'acide chlorhydrique, en employant le même artifice que pour remplir de mercure la boule d'un thermomètre.

On fait bouillir pendant dix minutes pour déterminer la réaction, en faisant passer les gaz à travers un lait de chaux qui s'empare de l'acide chlorhydrique entraîné, et de là conduisant le bioxyde d'azote purifié dans l'appareil, dans lequel doit s'effectuer la transformation en acide azotique. On met ce gaz en contact avec un peu d'eau et d'oxygène; en moins d'un quart d'heure, il est entièrement transformé en acide azotique.

La proportion de l'acide est évaluée au moyen d'une dissolution de sucrate de chaux, titrée avec de l'acide sulfurique. On obtient par là la quantité d'acide sulfurique équivalente à l'acide azotique; pour avoir ce dernier, il faut multiplier le nombre obtenu par $\frac{54}{40}$.

Ce procédé est très-délicat, mais donne des résultats fort exacts, ainsi que M. Schœlsing s'en est assuré par des expériences faites sur des poids connus d'acide.

Note sur la conversion du protoxyde de plomb en minium, à la température ordinaire; par M. A. LEVOL.

Annales de physique et de chimie, 3e série, t. XLII, p. 196.

M. Levol a observé que des coupelles imprégnées de litharge, exposées longtemps à l'air humide, deviennent rouges. Il a constaté, par des expériences directes, que le protoxyde de plomb seul n'éprouve aucune altération à l'air, mais qu'il absorbe assez rapidement l'oxygène, quand il est en contact avec une base forte comme la chaux et qu'en même temps il est exposé à l'air humide et à la lumière.

Analyse du fer météorique du département du Var; par M. E. RIVOT, professeur à l'École des mines.

La collection du Muséum possède une masse énorme de fer météorique, tombée dans le département du Var. Je dois à l'obligeance de M. Dufrénoy d'avoir pu analyser quelques fragments de cet aérolithe.

J'ai choisi, pour mes expériences, des morceaux dont l'aspect était métallique et qui ne présentaient aucune apparence d'oxydation.

Leur densité est de 7.428 à la température de 16°. Ils s'attaquent rapidement par l'acide hydrochlorique, avec dégagement d'hydrogène, pur et sans laisser de résidu. Ils ne renferment pas la plus petite trace de carbone, de soufre, de phosphore et d'arsenic.

L'analyse de deux morceaux, dont l'un pesait plus de 6 gr., m'a donné les résultats suivants :

Fer.	0,923	0,927
Nickel.	0,062	0,056
Cobalt-chrome. . .	traces.	traces.
Silicium.	0,009	0,009
	0,994	0,992

Les deux compositions présentent des différences assez faibles, pour qu'on puisse les attribuer à des erreurs d'analyse.

Le dosage du silicium a présenté une particularité que j'ai eu l'occasion d'observer plusieurs fois dans l'analyse de certains minerais de fer et de certaines fontes siliceuses.

En attaquant par l'eau régale, évaporant à sec et reprenant par l'acide hydrochlorique, je n'ai pas pu parvenir à rendre

toute la silice insoluble. J'ai obtenu un meilleur résultat en employant, pour la détermination de la silice, le procédé qui réussit pour la séparation de l'alumine et du peroxyde de fer.

La dissolution dans l'eau régale a été traitée par l'ammoniaque: le précipité, contenant oxyde de fer, un peu d'oxyde de nickel et toute la silice, a été soumis au rouge à l'action de l'hydrogène sec. Les métaux ont été dissous par l'acide hydrochlorique très-étendu; la silice est restée seule insoluble.

Ces réactions pouvaient me faire craindre la présence de l'aluminium; mais la matière blanche pulvérulente, obtenue comme je viens de l'indiquer, m'a présenté au chalumeau tous les caractères de la silice pure.

Quant à l'état chimique du silicium dans le fer météorique, on ne peut admettre que deux hypothèses:

1° La combinaison du silicium avec les métaux;

2° La présence d'une petite proportion de silicate de fer.

L'apparence parfaitement métallique des morceaux analysés, et les nombres obtenus, rendent très-probable la première de ces deux hypothèses.

J'ai dosé le nickel à l'état de sulfure en opérant de la manière suivante:

Les opérations précédemment indiquées pour la séparation de la silice donnent le nickel dans deux dissolutions: la plus grande partie se trouve dans la liqueur ammoniacale, le reste est dans la dissolution chlorhydrique avec le fer.

J'ai peroxydé le fer et précipité le peroxyde par l'ammoniaque; les deux liqueurs ammoniacales contenant le nickel ont été réunies et légèrement acidulées par l'acide acétique; le métal a été précipité à l'état de sulfure par l'hydrogène sulfuré. Ce mode de précipitation est difficile, parce que le sulfure a une grande tendance à s'attacher aux parois de la fiole; on l'évite en agitant fréquemment.

Le sulfure a été reçu sur un filtre et séché à 100°. Le papier a été brûlé séparément; les cendres et le sulfure, mélangés avec un peu de fleur de soufre, ont été chauffés au rouge sombre, à l'abri du contact de l'air, dans un creuset de porcelaine taré. L'augmentation du poids du creuset a donné le dosage du nickel à l'état de sulfure NiS. Ce procédé, expérimenté sur des quantités connues de nickel, m'a donné des résultats plus exacts que la méthode ordinaire, qui consiste à précipiter le nickel à l'état d'oxyde par la potasse caustique.

Analyse d'un minéral contenant du mercure et du tellure; par M. L.-E. Rivot, professeur à l'École des mines.

L'échantillon a été envoyé du Chili par M. Domeyko à M. Dufrénoy, directeur de l'École des mines; c'est une poudre rouge, terne, dans laquelle on distingue au microscope des grains rouges amorphes et quelques grains blancs, les uns ternes, les autres transparents et présentant l'éclat du quartz.

L'analyse qualitative fait reconnaître la présence du cuivre, du mercure, de l'antimoine, du tellure en proportions notables, et du fer, de l'arsenic et du soufre en traces très-faibles.

Le mode d'action de l'acide hydrochlorique indique assez bien l'état de combinaison des éléments.

Cet acide attaque rapidement une partie de la poudre et dissout beaucoup d'antimoine et de cuivre; la partie non attaquée présente encore des grains blancs et des grains rouges; les derniers disparaissent lentement par une digestion prolongée dans l'acide, et le résidu est entièrement blanc.

Après longue digestion dans l'acide hydrochlorique, la dissolution renferme la totalité du cuivre et du tellure, et la plus grande partie du mercure et de l'antimoine. La partie insoluble contient: le quartz, de l'acide antimonique et du protochlorure de mercure.

D'après cette action, le minéral proposé contient: de l'acide antimonique et de l'antimoniate de cuivre, du tellurure de mercure et du quartz.

Analyse. — J'ai déterminé séparément, dans des opérations spéciales, le cuivre et le mercure. J'ai dosé le mercure par voie sèche; pour le cuivre, j'ai préparé une dissolution chlorhydrique et précipité le métal par l'acide sulfureux et le sulfocyanure de potassium. Le cuivre, précipité à l'état de sulfocyanure $CyS^3\ Cu^2$, a été dosé à l'état de sulfure Cu^2S.

Le dosage de l'antimoine et du tellure a présenté des difficultés assez grandes, aussi bien pour la séparation des deux corps que pour la dissolution complète de l'antimoine.

L'acide hydrochlorique seul ne suffisant pas, il m'a fallu faire agir successivement un réductif énergique et un réactif oxydant. Le minéral a été soumis à une longue digestion dans l'acide hydrochlorique; la partie insoluble a été mise en suspension dans de

l'acide un peu étendu, auquel a été ajouté un peu d'acide hypophosphoreux. Par ce moyen, j'ai obtenu la réduction de l'acide antimonique, d'abord insoluble.

En traitant ensuite par de l'eau régale faiblement azotique, il m'a été facile d'arriver à la dissolution de tout l'antimoine. Le résidu calciné m'a donné le dosage du quartz.

Dans la liqueur acide, le cuivre et le mercure ont été précipités par l'ammoniaque et l'hydrosulfate.

Le sulfure alcalin, tenant en dissolution l'antimoine et le tellure, a été décomposé par l'acide acétique; le précipité de soufre, de sulfure d'antimoine et de sulfure de tellure, bien lavé par décantation, a été reçu sur un filtre taré, desséché à 100° et pesé.

Connaissant la somme du poids du soufre, du tellure et de l'antimoine, j'ai dosé sur deux fractions, dans l'une le soufre, dans l'autre le tellure; l'antimoine a été déterminé par différence.

Pour le dosage du soufre, le mélange de soufre et de sulfure a été dissous dans la potasse et oxydé par le chlore. L'acide sulfurique a été précipité par le chlorure de barium dans la liqueur acidifiée par l'acide hydrochlorique.

Pour le tellure, le précipité de soufre et de sulfure a été dissous dans la potasse et oxydé par le chlore; la liqueur a été acidifiée par l'acide hydrochlorique, et le tellure précipité à l'état de métal par l'action de l'acide sulfureux.

L'oxygène ne peut être déterminé directement, et avec exactitude, par aucune méthode; j'ai dû l'évaluer par différence.

Les différentes opérations m'ont donné les résultats suivants :

Antimoine, trace d'arsenic.	0,365°
Tellure.	0,148
Cuivre.	0,122
Mercure.	0,222
Quartz.	0,025
Fer et soufre	traces.
Oxygène et perte.	0,126
	1,000

Ces nombres, et la remarque faite précédemment au sujet de l'action de l'acide hydrochlorique, me font considérer le minéral proposé comme un mélange de tellurure de mercure, d'acide antimonique et d'antimoniate de cuivre.

La connaissance du mode de gisement peut seule indiquer si

cette substance est le produit d'une altération incomplète d'un minéral contenant du tellurure de mercure et de l'antimoniure de cuivre.

Analyse d'un échantillon de sulfate de soude naturel; par M. L.-E. Rivot, professeur à l'École des mines.

On annonce avoir découvert récemment dans le Guipuscoa, en Espagne, un dépôt puissant de sulfate de soude compacte, parfaitement incolore et transparent.

Quelques morceaux ont été envoyés à M. Dufrénoy, directeur de l'École des mines, et j'ai été chargé de les analyser.

Ils sont incolores, bien transparents; ils présentent à la cassure des indications de clivages et des irisations, et s'effleurissent à l'air avec une très-grande rapidité. Leur composition est la suivante:

		Oxygène.
Eau	0,545	0,485
Acide sulfurique	0,248	0,149
Soude	0,195	0,050
Potasse	traces.	
Chaux	0,003	
Magnésie	0,005	
	0,996	

Ces nombres conduisent à la formule:

$$SO^3 + NaO + 10\,HO.$$

Recherches sur les métaux et en particulier sur l'aluminium et sur une nouvelle forme du silicium; par M. H. Sainte-Claire-Deville.

Annales de chimie et de physique, 3e série, t. XLIII, p. 1.

§ I. — De la place que doivent occuper l'aluminium et le zinc dans la série des métaux.

M. H. Sainte-Claire-Deville propose de modifier la classification établie par M. Thenard, en ce qui concerne l'aluminium et le zinc. L'aluminium serait placé avec le fer, le chrome, le nickel et le cobalt; le zinc serait mis avec le magnésium.

Pour le zinc, le changement est motivé par de nombreuses expériences de MM. Deville et Debray, desquelles il résulte que l'oxyde de zinc n'est pas réduit quand on le chauffe, même au rouge blanc, dans une atmosphère d'hydrogène ou de gaz

des marais. M. Deville pense avoir prouvé que l'oxyde de zinc se volatilise, à très-haute température, dans une atmosphère d'hydrogène, et par suite que dans la métallurgie du zinc la réduction de l'oxyde doit être attribuée à ce que l'oxyde se volatilise et vient se mettre en contact intime avec le charbon (1).

§ II. — De l'aluminium.

L'aluminium déjà préparé par M. Vöhler (*Annales de chimie et de physique*, 1re série, t. XXXVII, p. 66, 1828; *Annalen der chemie und pharmacie*, t. LIII, p. 422) a été obtenu par M. Deville en quantité plus grande, ce qui lui a permis de mieux étudier ses propriétés.

C'est un métal blanc, légèrement bleuâtre, prenant beaucoup de dureté sous le marteau; il est ductile et malléable presque sans limite, et peut être limé facilement; il est aussi bon conducteur de l'électricité que l'argent; son point de fusion est intermédiaire entre celui du zinc et celui de l'argent. Sa densité est 2,50; elle augmente par l'écrouissage jusqu'à 2,67.

L'aluminium ne s'oxyde pas à l'air, même quand on le chauffe sous une moufle à une température supérieure à celle des essais d'or. Il ne décompose pas l'eau au rouge sombre; l'action est très-faible au rouge vif.

L'acide azotique est presque sans action sur lui; l'acide sulfurique ne l'attaque pas aisément; au contraire, l'acide hydrochlorique le dissout facilement avec dégagement d'hydrogène; l'action est d'autant plus énergique que l'acide est plus concentré, ce qui porte à penser que le métal décompose l'acide lui-même et non par l'eau.

L'aluminium est inattaquable par les alcalis caustiques; il ne paraît pas avoir d'affinité pour le plomb et le mercure; il se combine facilement avec le fer, le platine et le silicium.

---

(1) *Note de M. Rivot.*— Cette conclusion de M. Deville est en contradiction manifeste avec tous les faits observés dans les usines à zinc : d'ailleurs, il est facile de prouver, par l'expérience directe, que l'oxyde de zinc est complétement réduit par l'hydrogène, et que la réduction commence à une température très-peu supérieure au rouge sombre. M. Deville a été induit en erreur, parce qu'il a fait passer sur l'oxyde de zinc un courant très-lent d'hydrogène. Dans ce cas le zinc, provenant de la réduction de l'oxyde, se trouve à l'état de vapeur en contact avec la vapeur d'eau résultant de la réduction, et il se reproduit de l'oxyde de zinc cristallisé. Cette réoxydation n'a pas lieu quand le courant d'hydrogène est assez rapide : on obtient le zinc métallique condensé dans les parties froides du tube.

Il forme avec le silicium une espèce de fonte très-cassante et facilement cristallisable.

Ces propriétés sont entièrement différentes de celles indiquées par M. Vöhler, et M. Deville explique cette différence en admettant que le savant professeur allemand n'avait pas obtenu de l'aluminium pur, mais bien de l'aluminium contenant un peu de platine et de sodium.

§ III. — De la préparation du sodium.

Le sodium servant à la préparation de l'aluminium, M. Deville s'est beaucoup occupé de ce métal; il est bien moins oxydable que le potassium, et d'un emploi plus commode. On l'obtient facilement et en quantité considérable en chauffant jusqu'au rouge blanc un mélange de carbonate de soude, de carbonate de chaux et de charbon. L'appareil le plus convenable est celui qu'ont indiqué MM. Donny et Maresca pour le potassium. Les précautions à prendre et la conduite de l'opération sont les mêmes que celles conseillées par ces deux chimistes. Le mélange le plus convenable est le suivant:

Carbonate de soude.	717
Charbon.	175
Carbonate de chaux.	108
	1,000

Le carbonate de chaux empêche la fusion et permet au charbon d'agir plus complétement sur la soude : un excès de charbon paraît indispensable à la réussite de l'opération.

§ IV. — De la préparation de l'aluminium.

L'aluminium peut être obtenu par deux méthodes: 1° en décomposant le chlorure d'aluminium par le sodium; 2° en décomposant par la pile le chlorure double d'aluminium et de sodium.

Première méthode. — On introduit dans un gros tube de verre, de 4 centimètres de diamètre, 200 à 300 grammes de chlorure d'aluminium, isolé entre deux tampons d'amiante. On fait arriver un courant d'hydrogène, et quand tout l'air est chassé de l'appareil, on chauffe doucement, afin de de purifier le chlorure d'aluminium en le débarrassant des chlorures plus volatils qu'il peut contenir, par exemple du chlorure de silicium.

On introduit dans le tube le sodium métallique contenu dans des nacelles en porcelaine, on le chauffe jusqu'à fusion, et on volatilise le chlorure d'aluminium. Il est entraîné par le courant d'hydrogène sur le sodium fondu, et produit du chlorure double de sodium et d'aluminium et de l'alumininm métallique. Quand tout le sodium a disparu, on arrête l'expérience; on volatilise le chlorure double en chauffant jusqu'au rouge vif dans un tube de porcelaine, et toujours dans une atmosphère d'hydrogène. On purifie l'aluminium, et on l'obtient bien réussi en un seul culot, par une nouvelle fusion en présence du chlorure double d'aluminium et de sodium.

Seconde méthode. — Le bain à décomposer par la pile est une combinaison de 2 p. de chlorure d'aluminium avec 1 p. de chlorure de sodium, chauffée jusqu'à fusion dans un creuset de porcelaine placé dans un creuset de terre. Une lame de platine et un vase poreux contenant du chlorure double et un cylindre de charbon forment les deux électrodes de la pile. L'aluminium se dépose assez rapidement sur la lame de platine, en même temps que du chlorure de sodium.

L'aluminium obtenu par ce procédé est en général moins pur que celui donné par la première méthode (1).

§ V. — D'une nouvelle forme du silicium.

Quand on réduit par la pile du chlorure d'aluminium impur, on obtient une fonte d'aluminium chargée de carbone et de silicium, cassante et cristallisable.

En la traitant par l'acide hydrochlorique concentré, et en prolongeant suffisamment l'action de cet acide, on dissout tout l'aluminium, et on obtient le silicium sous forme de petites paillettes brillantes, inaltérables à l'air à toute température, inattaquables par les acides. On ne peut le dissoudre que par un mélange d'acide azotique et d'acide hydrofluorique.

M. Deville a trouvé dans une fonte d'aluminium ne contenant pas de carbone :

Silicium	10,30
Aluminium	89,70
	100,00

(1) Si les propriétés de l'aluminium annoncées par M. Deville sont reconnues exactes, il est certain que ce métal aura bientôt une grande importance.

EXTRAITS DE MINÉRALOGIE (1)

Par M. DE SÉNARMONT,
Ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

(TRAVAUX DE 1853 ET 1854.)

Production artificielle de minéraux cristallisés;

1° par M. MACÉ.

Comptes rendus de l'Académie, t. XXXVI, p. 825.

En mettant en communication par un fil fin, fonctionnant comme siphon, des dissolutions étendues de sulfate de fer et d'azotate de baryte ou de plomb, on obtient en cristaux les sulfates $BaO\,SO^3$, $PbO\,SO^3$.

2° Par M. WOHL,

Ann. der chem. und pharm., t. LXXXVIII, p. 114.

En faisant réagir lentement des dissolutions étendues au travers d'une cloison poreuse de papier à filtrer ou d'argile, on obtient en cristaux le plomb chromaté, les carbonates de zinc, de bismuth, de plomb, de chaux; la struvite.

3° Par M. DREVERMANN.

Ann. der chem. und pharm., t. LXXXVII, p. 120.

En déposant séparément au fond de deux longs tubes bou-

(1) On avait d'abord donné à ces extraits l'étendue ordinaire; mais la plupart des travaux minéralogiques se trouvant résumés dans le Traité de M. Dana (4e édit. New-York et Londres, 1854), il a paru inutile de répéter par extraits détachés dans ce recueil tout ce qui est déjà classé et coordonné dans un ouvrage *ex professo* sur la matière.

chés par un bout de l'azotate de plomb en morceaux, et du chromate de potasse, puis en plaçant les tubes, ouverts par en haut et debout, dans un vase plein d'eau, les dissolutions s'effectuent et se mêlent lentement par diffusion; on a obtenu ainsi des produits cristallisés divers, à cause de l'impureté du chromate de potasse.

Plomb chromaté.	$PbO\ CrO^3$
Melanochroïte.	$3PbO\ 2CrO^3$
Plomb carbonaté.	$PbO\ CO^2$
Plomb sulfaté.	$PbO\ SO^3$

Sur la Partschine d'Oldhpian; par M. HAIDINGER.

Sitzungsbericht Wien. acad. (mars 1854).

Ce minéral se rencontre en cristaux dans des sables de lavage. Couleur, depuis le brun jaunâtre jusqu'au brun rouge; translucide sur les bords; éclat un peu gras, aigre; dureté, 6,5 à 7. Densité 4.006. Forme, prisme oblique (*fig.* 5, Pl. VI).

P/M	116°,5	P/e^1	148°,0
P/d^2	126°,52	h^1/M	135°,56
d^2/d^2 adjacent. .	103°,26	P/g^1	90°,0
d^2/M adjacent. .	117°,2	h^1/g^1	90°,0

Composition:

Silice.	35,28 . . .	34,89
Alumine.	19,98 . . .	18,95
Protoxyde de fer.	14,38 . . .	13,86
Protoxyde de manganèse.	29,11 . . .	29,34
Chaux (diff.).	1.82 . . .	2,77
Eau.	0,38	
	100,00	

$$3[FeO, MnO, CaO]\ SiO^3 + Al^2O^3SiO^3.$$

Formule du Grenat.

Sur l'Iodure d'argent de Coquimbo; par M. DESCLOIZEAUX.

Annales de chimie et de physique, 3e s., t. XL, p. 85.

(Voir l'analyse, *Ann. des Mines*, 5e s., t. IV, p. 329).

(*fig.* 6)

M/M	120°,0	M/b 1/2	152°,50[1]
P/b 1/4	104°,52	P/b^2	155°.35
M/b 1/4 . . . . . ,	165°,0	b 1/2 b 1/4.	167°,0
P/b 1/2	118°,1[1]	P/M	90°,0

Clivage facile parallèle à P.

Même forme que la Greenockite.

Sur la descloizite; par M. DAMOUR.

Annales de chimie et de physique, 3e s., t. XLI, p. 72.

Se trouve en petits cristaux éclatants noirs ou d'un vert olive foncé, avec un éclat bronzé.

Associé à des minerais de plomb de la Plata, principalement à des phosphates.

		Oxygène.	
Acide vanadique	0,2246	0,0582	3
Oxyde de plomb	0,5470	0,0392	2
— de zinc	0.0204	2PbO VO3	
— de cuivre	0,0090		
— de fer	0,0150		
— de manganèse	0,0532		
Eau	0,0220		
Chlore	0,0032		
Gangue insoluble dans l'acide azotique	0,0944		
	0,9888		

Forme cristalline; par M. DESCLOIZEAUX.

Annales de chimie et de physique, 3e s., t. XLI, p. 79.

Prisme rhomboïdal droit (*fig.* 7, Pl. VI):

M/M	116,30	$b^{1/2}/b^{1/2}$. Par dessus, M	115,10
M/$b^{1/2}$	147,34	$e^{3/2}$ très-incertain, faces striées.	
$b^{1/2}b^{1/2}$	127,10		

Sur la Wohlérite; par M. DESCLOIZEAUX.

Annales de chimie et de physique, 3e série, t. XL, p. 76.

Prisme rhomboïdal droit (*fig.* 8):

Angles principaux.

M/M		108 56 calculé.		P/	e^2	135 30	
P/	a^{10}	164 15			e^1	116 00 environ.	
	$a^{11/2}$	153 52			$e^{2/3}$	108 ou 109	
	$a^{11/3}$	135 00			g^1	90	
	$a^{11/6}$	116 53		P/	$b^{3/2}$	131 30	
	a^1	109 10	110		$b^{1/2}$	106 30	
	b^1	90°			$b^{4/11}$	102 3	

Analyses de diverses idocrases; par M. Rammelsberg.

Pogg. Ann., t. XCIV, p. 115.

	(1.a)	(1.b)	(2.a)	(2.b)	3	4	5	6	7	8	9	10
$\ddot{S}i$	37,77	37,33	38,25	37,56	37,15	39,52	37,20	37,88	37,64	37,33	38,40	37,15
$\ddot{T}i$	»	»	»	»	»	»	1,51	»	2,40	»	»	»
$\ddot{A}l$	17,23	10,98	15,49	11,61	15,52	18,31	19,30	14,48	15,64	12,69	10,51	14,34
$\ddot{F}e$	4,43	9,03	2,16	7,29	4,85	8,04	8,42	7,45	6,07	8,61	7,15	6,47
$\dot{F}e$	»	»	»	»		»	»	0,10	»	»	»	»
$\dot{M}g$	3,79	4,31	4,31	5,33	5,42	1,54	4,22	4,30	2,06	3,32	7,70	2,87
Ca	37,35	35,69	36,70	36,45	36,77	35,02	34,48	34,28	35,86	35,00	35,96	37,41
Ka	»	»	0,47	»	0,06	»	0,41	»	»	»	»	0,93
Total.	100,55	97,90	97,38	98,24	100,06	98,75	99,44	98,89	99,67	96,95	99,72	98,27
Densité.	3,362	3,428	3,343	3,385	3,378	3,411	3,436	3,384	3,434	3,343	3,415	3,407

(1.a) Vésuve, brun jaunâtre. — (1.b) Vésuve, brun foncé. — (2.a) Monzoni, vallée d'Ala, jaunâtre. — (2.b) Monzoni, brunâtre. — (3) Donazka-Bannat. — (4) Halau, près Lger. — (5) Egg, près Christiansand. — (6) Eger, Norwége. — (7) Soudfort, Amérique. — (8) Tunaberg. — (9) Wilui. — (10) Ala.

Oxygène. . . . . $\ddot{S}i$. 5; $\ddot{R}$ 2; $\dot{R}$. 3.

Forme de la datholite; par M. R. Hess.

M. Miller regarde la datholite comme réductible au prisme droit hémiédrique ; M. Neumann, comme réductible au prisme oblique, avec l'inclinaison de la base sur la hauteur presque égale à 90°.

M. Hess a pris sur des cristaux très-parfaits d'Andreasberg (*fig.* 9) des mesures qui paraissent laisser la question indécise (elle serait peut-être résolue par des observations optiques).

	HESSE. Angles mesurés.	HESSE. Angles calculés.	MILLER.
M/M.		76° 54′	76° 44′
g/g.	115° 21′ à 115° 21′ 5	115° 25′	115° 20′
c/a.		90° 0′ 8 à 90° 3′8	90°
c/x.	134° 55′	134° 52′ 5	135°
c/m.	140° 56′ 5 à 141° 5′	141° 9′	141° 9′
m/m″.	120° 54′ 7	120° 52′ 5	
c/d.	147° 36′ 4 à 147° 39′ 5	147° 35′ 47	147° 5′

On a inscrit sur la *fig.* 9 les lettres de Miller (*Elem. intr. to mineralogy*, p. 409); elle présente de plus la face τ commune aux zones M*æ* et *ae*, ou dans la notation de Milles, la face (511).

Sur le Mica; par M. GRAILICH (*) et par M. KOKSCHAROW (**).

(*) *Sitzungsbericht Wien. acad.*, t. X, p. 206.
(**) *Pogg. Ann.* 1855.

M. Grailich a examiné les propriétés optiques d'un grand nombre de micas. Il a retrouvé les macles et confirmé tous les résultats mentionnés *Ann. des Mines*, 4me s., t. IV, p. 137. Il en conclut également que les micas sont très-probablement réductibles au prisme rhomboïdal droit.

M. Kokscharow a mesuré au goniomètre de Mitscherlich des cristaux très-nets du Vésuve (*fig.* 10; il a trouvé :

p/b^2	106°,52′ 45″	b^1/b^1	100°,44′ 30″
p/b^1	98°,32′ 30″	b^1/b^2	154°,25′ 30″
b^2/b^2	120°,50′ 30″	b^1/g^1	119°,37′ 30″

Ces angles sont peu différents de ceux qui résultent des mesures de Phillips et G. Rose. Les formes sont toutes réductibles au prisme rhomboïdal droit, plusieurs sont hémiédriques.

Sur le clinochlore d'Achmatowsk; par M. KOKSCHAROW.

Verhand. Ka. Russ. min. gesselschaft, 1854.

Le minéral d'Achmatowsk et celui de Swarzenstein, remarquables par leur structure lamelleuse et leur dichroïsme, ont été d'abord confondus avec la chlorite de Werner.

De Kobell les en a séparés sous le nom de ripidolite; puis G. Rose sous celui de chlorite; réservant, au contraire, le nom de ripidolite à la chlorite de Werner. Un minéral trouvé en Pensylvanie se rapproche beaucoup de celui d'Achmatowsk par l'ensemble de ses caractères; W.-P. Blake l'a désigné sous le nom de clinochlore.

On a toujours regardé le minéral d'Achmatowsk comme hexagonal; l'auteur lui-même l'avait d'abord considéré comme tel dans un précédent travail; cependant les angles calculés présentaient avec les angles mesurés des différences supérieures aux erreurs d'observation.

Cette circonstance tenait à la forme qu'on lui attribuait faussement. Le présent mémoire a pour but de montrer qu'il est,

en réalité, réductible au prisme oblique symétrique. Pour éviter toute confusion de langage, l'auteur désigne le minéral d'Achmatowsk et de Schwarzenstein sous le nom de clinochlore.

Les cristaux mesurés présentent toutes les faces dont les symboles sont inscrits sur les *fig.* 12 à 19, et de plus $d^{1/6}$, $b^{4/3}$, $e^{3/2}$ (1).

En prenant pour données fondamentales

$$M/M = 125°,37' \qquad P/M = 113°,57 \qquad P/b^1 = 102°,6\ 1/2$$

on trouve B/H = 0,6776, la base inclinée sur la hauteur de 62° 51', les angles plans de la base de 120° et 60°, et enfin, pour les autres angles :

	Angles observés.	Angles calculés.
$P/b^{3/2}$	118°,28	118°,32
$P/d^{1/6}$	119°,5	118°.59
$P/o^{1/2}$	125°,4	125°,7
$b^{3/2}/e^{1/2}$	124°,31	124°,31
$b^{4/3}/a^2$	150°,00	150°,6
$e^{1/2}/M$	124°,6	124°,8

Les formes habituelles des petits cristaux sont représentées *fig.* 12, 13, 14, 15, les formes des plus gros *fig.* 16, 17, 18, 19.

Comme les angles plans de la base sont de 120° et 60°, certaines combinaisons des faces, situées dans les zones PM, Pg^1, rappelleront les formes hexagonales : et comme les intersections de cette base avec les faces des zones Pg^2, $Po^{1/2}$, déterminent des angles plans de 150°, cette ressemblance devient encore plus prononcée quand on trouve sur les mêmes cristaux des faces $o^{1/2}$, $a^{1/2}$, a^2, a^3, et g^2, i, i', i''.

Les faces M, b', $d^{1/6}$ sont habituellement striées parallèlement à leur intersection avec la base parallèle elle-même au clivage, rarement miroitantes et ne comportant guère de mesures exactes. Les faces de la zone Pg^1 sont assez brillantes, la base et les autres faces le sont au plus haut degré.

Bien que la base soit ordinairement lisse, elle montre quelquefois des inégalités régulières en forme d'étoiles ou d'éventail (*fig.* 11).

Cette disposition est produite par des macles assez communes dans les cristaux d'Achmatowsk. Les groupes sont formés de

(1) On a substitué aux symboles de l'auteur la notation équivalente de Levy, plus usitée en France, et qui peut s'inscrire sur les figures.

trois individus, soudés par des faces $b^2/^3$ inclinées chacune d'environ 60° à la petite diagonale de la base; et sur cette base même de 89° 43'. Les sections principales se croisent donc sous des angles de 60° ou 120°, et les clivages se rencontrent sous des angles de 179° 26, alternativement saillants et rentrants, qui se voient assez bien sur les cristaux triples; et donnent à leur clivage une disposition radiée.

Il ne faudrait pas généraliser ces résultats, qui pourtant sont aussi applicables à la chlorite de Schwarzenstein. Les comparaisons cristallographiques sont, en général, difficiles, parce qu'on ne sait à quelles faces dérivées du prisme oblique rapporter les mesures prises par divers observateurs. On remarquera seulement qu'aucun des angles déterminés sur la pennine, par Fröbel et Descloizeaux, ne se retrouvent jusqu'ici dans la série du clinochlore.

Les cristaux d'Achmatowsk se comportent dans la pince à tourmalines comme s'ils avaient deux axes, et leurs propriétés optiques ne diffèrent probablement pas de celles du clinochlore de Pensylvanie. On sait que W.-P. Blake y a signalé deux axes optiques fort écartés, dans un plan normal à l'un des bords de certaines lames naturellement triangulaires, avec une bissectrice elle-même inclinée au clivage. Il y a également observé des macles sous l'angle de 60° (1).

---

(1) Les observations de M. W. P. Blake sont parfaitement exactes. En examinant au microscope d'Amici une lame hexagonale de clinochlore de Pensylvanie, que le rédacteur doit à la bienveillance de M. Dana, il a trouvé le plan des axes optiques parallèle au côté de l'hexagone, et par conséquent à la section principale du prisme oblique. Non-seulement les axes optiques sont naturellement très-écartés, et leur bissectrice inclinée au plan des lames, mais une forte chaleur augmente et cet écartement et cette inclinaison; pendant que le système d'anneaux le plus incliné sur le clivage sort du champ du microscope, l'autre reste sensiblement immobile. Les clinochlores d'Achmatowsk et de Schwarzenstein ne se comportent pas tout à fait comme celui de Pensylvanie. On y voit un système d'anneaux ovales allongés dans le sens de la petite diagonale, et par conséquent deux axes optiques peu écartés. L'obliquité de la bissectrice, en supposant qu'elle existe, est trop faible pour être constatée; enfin, la chaleur ne modifie pas sensiblement les phénomènes.

Quelques cristaux montrent des macles qui ne paraîtraient pas non plus toujours disposées comme l'indique le mémoire analysé. Au reste, ces dernières observations ont besoin de révision, parce que les cristaux examinés étaient fort imparfaits.

La pennine de Zermatt et les chlorites d'Ala se comportent généralement comme si les cristaux étaient réductibles au système hexagonal.

S.

On rappellera brièvement ici les caractères du clinochlore.

Densité, 2.774; dureté, 2,5; couleur verte par transmission normale aux lames; brune ou rouge hiacynthe par transmission parallèle à leur plan. Ce polychroïsme n'est pas toujours observable.

Transparence sur les bords, ou dans toute la masse des grands cristaux. Demi-transparence de quelques petits cristaux.

Flexible et non élastique en lames minces.

La poussière est d'un vert blanchâtre, onctueuse au toucher.

Au chalumeau, sur le charbon, le minéral s'exfolie et devient opaque, d'un brun jaunâtre; dans la pince de platine, il fond sur les bords en verre noir; il s'attaque à l'acide sulfurique concentré.

Le clinochlore d'Achmatowsk est une espèce minérale remarquable, accompagnée de belles variétés de Grenat, Diopside, d'Apatite, etc.

DÉCOUVERTE DE LIGNITE

A NOSSI-BÉ ET SUR LA CÔTE OCCIDENTALE DE MADAGASCAR.

(Extrait de divers rapports adressés à M. le Ministre de la Marine.)

Diverses explorations ont été entreprises dans ces desniers temps pour rechercher si, comme le bruit s'en était repandu, il existait des gîtes houillers à Nossi-Bé et sur la côte occidentale de Madagascar.

Nossi-Bé.

D'après les ordres de M. le capitaine Dupuis, commandant de Nossi-Bé, M. Lombardeau, lieutenant d'artillerie de marine, entreprit d'explorer les environs du village Empiring qui est au nord de l'île et dans lequel on avait annoncé qu'il se trouvait de la houille.

Parti le 6 octobre 1853, M. Lombardeau était de retour le 11 du même mois. Il était accompagné par M. Boullay, lieutenant d'infanterie, et par M. Piétri, chirurgien de la marine. Il avait avec lui quelques soldats noirs et un ouvrier forgeron de l'artillerie de la marine.

M. Lombardeau a fait creuser deux puits sur les flancs de collines situées à 200 ou 300 mètres du village Empiring, l'une au sud-ouest et l'autre à l'ouest sur le bord de la mer.

Le premier puits, creusé à la profondeur de 7 mètres, n'a rencontré que des sables et des terrains de transport.

Le deuxième puits a présenté la succession suivante:

Dans la partie supérieure, sur une profondeur de $2^{m},50$ environ, des terres meubles, fortes et argileuses; elles sont mêlées à quelques brèches calcaires, aréna-

cées, de couleur grise rougeâtre, formant des grès que l'on pourrait ranger dans les molasses ou dans les grès calcaires.

Vient au-dessous, sur une épaisseur de 1m,40, une terre noirâtre ou d'un gris bleuâtre, douce, onctueuse au toucher, schisteuse, se délayant dans l'eau et devenant dure, grise et sèche à l'air libre; cette terre est une argile.

Les parties inférieures de cette argile se relient à une couche de grès de 3 ou 4 décimètres; le grès a une couleur grise foncée, quelquefois noirâtre ou bleuâtre; il n'est pas très-dur. Ses grains sont assez fins et dans son ciment qui paraît argileux, on aperçoit du mica en assez grande quantité.

Au-dessous du grès, il y a une couche d'argile limoneuse d'un rouge brun, ayant plus de 2 mètres d'épaisseur. Elle contient deux ou trois veines de quelques millimètres d'épaisseur qui sont formées par un combustible sec et brillant.

Les premières recherches entreprises à Nossi-Bé n'ont donc donné que des indices de combustible minéral, mais des recherches ultérieures pourraient amener la découverte d'un gîte exploitable.

Sur la côte occidentale de Madagascar, M. Janet a en effet trouvé un combustible minéral qui est de bonne qualité et qui présente tous les caractères du lignite. Par suite de cette découverte, M. le contre-amiral Laguerre a ordonné une exploration géologique de la côte, qui a été faite à la date du 4 novembre 1853 par les officiers de la *Jeanne-d'Arc*. Madagascar.

Cette exploration a surtout porté sur deux points, la pointe d'Angadouka et la baie de Baratoubé.

Quand on part de la côte ouest d'Angadouka et qu'on remonte vers le nord, on observe, en longeant le bord Pointe d'Angadouka.

de la mer, des couches abruptes, d'une hauteur de 80 mètres, qui sont à peu près horizontales et qui s'inclinent lentement de l'ouest à l'est. Parmi ces roches on distingue surtout des grès d'un grain fin et serré qui sont quelquefois d'un rouge pourpre. Ils contiennent accidentellement de l'hydroxyde de fer. Au niveau de la mer, ces grès sont supportés par des couches blanchâtres, friables, dures au toucher, peu sonores sous le marteau, qui sont des marnes argileuses : c'est entre ces couches qu'on voit apparaître plusieurs veines de lignite fibreux ayant au plus 1 centimètre d'épaisseur moyenne.

Dans le voisinage de ces marnes argileuses et en stratification concordante avec elles, on rencontre ensuite des argiles noires schisteuses qui se délayent dans l'eau, tachent les doigts et deviennent grises par l'exposition à l'air.

Sur quelques roches, il y a, en outre, des efflorescences de sels blanchâtres, très-solubles, d'une saveur âcre et piquante ; ce sont des sulfates qui résultent de l'action exercée sur les schistes par l'acide sulfurique provenant de la décomposition des pyrites.

Lorsqu'en longeant la côte on s'avance vers le nord, les grès deviennent quelquefois noirs et ils contiennent du lignite un peu plus brillant.

Vers la pointe d'Angadouka, la falaise atteint sa plus grande hauteur, et on y trouve des veines de lignite qui sont plus nombreuses, mais cependant encore assez minces : en outre, le grès rougeâtre devient plus dur, et il est facile de reconnaître qu'il a été modifié par des roches d'origine ignée qui y forment des filons.

En se tenant à l'est de la pointe, on suit encore les veines de lignite qui sont toujours minces et nombreuses ; à 1 mille environ de la pointe, la falaise s'a-

baisse insensiblement jusqu'au niveau de la mer. A l'est de la pointe d'Angadouka, les roches d'origine ignée sont d'ailleurs plus apparentes; elles présentent des coulées et elles ont rempli des fentes qui sont dirigées du nord au sud.

Baie de Baratoubé.

— La troisième pointe dans la partie Est de la baie de Baratoubé a également été explorée par les officiers de *la Jeanne-d'Arc* dans l'excursion du 4 novembre 1853.

Elle est formée par un terrain qui paraît plus riche en lignite que celui de la pointe d'Angadouka, mais dont la composition minéralogique est à peu près la même.

Les couches s'élèvent à 8 ou 10 mètres au-dessus du niveau de la mer et leur stratification est très-nette: elles s'inclinent du S.-O. 1/4 S. au N.-E. 1/4 N. On y retrouve les grès d'Angadouka; toutefois ces grès sont plus durs; ils sont rouges à la partie supérieure, tandis qu'à leur partie inférieure ils sont violacés, grisâtres ou blanchâtres. Vers le bord de la mer, les couches sont plus argileuses et elles contiennent du lignite léger et brillant.

Sur le sol et au bas de la pente du terrain, du côté du N.-E. 1/4 N., on rencontre des schistes argileux, ardoisiers, puis un grès rouge brunâtre, à cassure conchoïde, à structure compacte et grenue.

Le grès contient quelques de l'oxyde de fer en rognons. Sur certains points, les schistes ont été soumis à une action ignée.

C'est au bord de la mer que M. Janet a creusé une galerie horizontale ayant 4 ou 5 mètres de longueur sur 3 mètres de largeur et 2 mètres de hauteur. A la partie supérieure de cette galerie est un grès très-dur, gris blanchâtre. A sa partie inférieure, il y a une couche d'argile assez régulière ayant 1 mètre d'épaisseur et courant du S.-O. 1/4 S. au N.-E. 1/4 N.; cette argile est

noire et schisteuse; elle alterne avec des couches marneuses rougeâtres. Le lignite forme d'ailleurs des veines minces, mais assez nombreuses, qui sont dans le grès et dans les couches d'argile schisteuse.

Pointe d'Ampouhang.

M. Janet a encore exploré la pointe d'Ampouhang dans laquelle il n'y a trouvé qu'un lignite terreux, schistoïde ou seulement du schiste imprégné de matière charbonneuse.

Qualité du lignite.

Une petite quantité du lignite de la pointe d'Angadouka ayant été exploitée par M. Janet, une commission présidée par M. Lombardeau, s'est réunie à Hell-Ville, le 26 septembre 1853, aux forges de la direction des travaux, pour faire un rapport sur la qualité de ce lignite et sur les usages auxquels il pouvait être employé dans l'industrie.

L'étude minéralogique du lignite d'Angadouka montre qu'il a une cassure brillante, un éclat vitreux et une couleur noire. Sa couleur est moins foncée que celle de la houille, et il est aussi plus léger. Il est feuilleté, fibreux, quelquefois compacte. Il s'agglomère par la calcination. On y distingue très-bien les fibres et la structure du bois. Il contient même des empreintes de végétaux fossiles : toutefois ces végétaux ne sont pas des fougères comme dans la houille et dans les roches du terrain houiller, mais ce sont des dicotylédones, peut-être même des conifères.

Le combustible de la côte occidentale de Madagascar présente donc bien tous les caractères du lignite; les officiers qui ont exploré son gisement pensent, de plus, qu'il est plus ancien que le terrain tertiaire et qu'il appartient au terrain secondaire.

Quelques essais ont du reste été entrepris pour rechercher si ce lignite pouvait être employé dans les arts.

Avec 5^{k},500 du lignite d'Angadouka, on a forgé en

quatre chauffes un mors de tenaille. Ce lignite a donné une fumée grise très-abondante, une odeur bitumineuse; il a brûlé avec une flamme très-longue et très-blanche, en dégageant beaucoup de chaleur. Il ne s'est pas agglutiné et il n'a pas formé voûte autour de la tuyère; il serait donc peu propre au travail de la forge. Lorsqu'on a cessé de faire aller le soufflet, il a continué à brûler avec beaucoup de vivacité. Il a donné peu de scories et sa cendre était blanchâtre.

Un essai comparatif a été fait avec 4k,500 de houille maréchale qui ont servi à forger en quatre chauffes et dans le même temps un mors de tenaille identique au premier. La houille maréchale a donné une fumée plus blanche; la flamme est venue plus lentement et elle était moins longue et moins blanche. La houille s'est agglutinée autour de la tuyère; mais la quantité de scories et de cendres était à peu près la même.

Un essai du lignite d'Angadouka, fait au laboratoire de l'École des mines sous la direction de M. Rivot, a donné la composition suivante:

Carbone fixe.	0,418
Matières volatiles. . . .	0,542
Cendres.	0,040
	1,000

Le lignite de Baratoubé était beaucoup plus impur que celui d'Angadouka; il renfermait:

Carbone.	0,562
Matières volatiles. . . .	0,192
Cendres.	0,246

— En résumé, les explorations faites jusqu'à présent montrent qu'il existe sur la côte occidentale de Madagascar et à Nossi-Bé un terrain formé de grès et d'argiles schisteuses qui contient des veines de lignite; ce lignite a surtout été observé à la pointe d'Angadouka et dans la

baie de Baratoubé. Il est fibreux, brillant, il brûle facilement avec une flamme longue et blanche; il laisse peu de résidu. Il est donc susceptible d'être employé dans l'industrie, soit pour la cuisson de la chaux et des poteries communes, soit pour l'évaporation des liquides; il serait utile par conséquent d'étudier le gisement de ce lignite et de rechercher s'il en existe des couches plus épaisses et facilement exploitables.

Les documents qui précèdent offrent d'ailleurs un grand intérêt et il est très-désirable qu'ils puissent être complétés; car jusqu'à présent la géologie de l'île, si importante et si étendue de Madagascar, ne nous est guère connue que par une notice de M. Buckland (1). Dans cette notice relative aux environs de Port-Longui situé à la pointe N.-E., M. Buckland signale des grès sans fossiles qu'il compare au nouveau grès rouge (new red sandstone) et dans lesquels sont intercalés des trapps semblables à ceux d'Antrim, en Irlande; en sorte qu'il paraît y avoir une grande analogie entre la composition géologique de Port-Longui et celle de la côte occidentale de Madagascar en regard de Nossi-Bé. D.

---

(1) *Notice on the geological structure of a part of the Island of Madagascar*, founded on a collection transmitted to the Right honourable the Earl Bathurst, by governor Farquhar, in the year 1819. (*Transactions geol. soc.* London, t. V, 1re série, p. 478).

Sir. Roderick Murchison a aussi indiqué, d'après une lettre de M. Telfair, un conglomérat récent de l'île de Madagascar dans lequel on a trouvé des ossements et une dent d'hippopotame (*London and Ed. philosophical magazine*, 1833, t. III, p. 231.)

SUR LA GÉOLOGIE DE L'INDE,

D'APRÈS M. G.-B. GREENOUGH.

(Note traduite du journal anglais *l'Athenæum*, du 14 octobre 1854, p. 1242, par M. ÉLIE DE BEAUMONT.)

M. Greenough en offrant, le 30 septembre 1854, à l'*Association britannique* sa carte géologique de l'Inde, a fait observer que l'étude des corps organisés fossiles est la pierre angulaire de la géologie moderne, et qu'on peut apprendre beaucoup plus de l'histoire de la terre des fossiles organiques que de la nature et des propriétés de la matière inorganique. L'idée d'une succession définie des masses minérales ne peut plus être soutenue, chaque formation contenant ses grès, ses argiles et ses calcaires disposés régulièrement ou irrégulièrement. Une même couche change de caractères minéralogiques en passant d'une contrée à une autre, ou même dans les limites d'une seule contrée, et quelquefois dans l'étendue d'une carrière. Le contact d'une roche ignée ou plutonique avec une roche sédimentaire change quelquefois l'aspect de cette dernière, de manière à la rendre méconnaissable. La transformation du lias en pierre lydienne, du calcaire jurassique en dolomie, de la craie en marbre, du grès ou de l'argile en jaspe, montrent combien il est dangereux d'accorder une confiance implicite aux caractères minéralogiques. Les prodigieuses quantités de roches plutoniques qui occupent les parties septentrionales aussi bien que les parties méridionales de l'Inde ne sont pas le produit d'une époque

déterminée, mais plutôt de plusieurs époques ; et probablement il existe dans cette contrée un grand nombre de couches secondaires qui n'ont pas encore été découvertes. Les parties les moins connues sont le Cashmere et le Nepaul, la côte occidentale du Guzerate, et une vaste surface dans l'Orissa et la contrée environnante. Ce qui suit est un court extrait de la communication de M. Greenough, qui était illustrée par une grande carte géologique coloriée de toute la contrée.

Terrain post-tertiaire. — *Regur* ou terrain à coton, espèce de *trapptuf* ressemblant au limon du Nil ou à la terre noire de Russie. Il est répandu sur le plateau des districts cédés et du Mysore, et flanque les montagnes des Neilgherries et de Salem, couvrant presque tout le plateau du Deccan ; mais il n'a pas été observé dans le Konkan. Le *Kunker* est une substance concrétionnée analogue au travertin d'Italie, remplissant les fissures et les cavités des roches sous-jacentes. Des ossements de mastodonte y ont été trouvés, et les couches les plus récentes de ce dépôt contiennent des fragments de poterie. Il fournit une pierre de construction grossière, et on s'en sert largement pour la fabrication de la chaux. On désigne sous le nom local de *Gootin* et de *Chunam* un calcaire argileux employé comme pierre de construction dans le Bengale, le Béhar, à Bénarès, etc., qui se montre en nodules dans le terrain d'alluvion dont l'épaisseur, à Calcutta, est de 500 à 600 pieds anglais (152 à 183 mètres). Près de Bénarès, il contient des fragments de coquilles d'eau douce. Au sud de Madras on trouve une argile qui abonde en coquilles marines, employées pour faire de la chaux de préférence aux coquilles de la plage, comme étant plus exemptes de sel.

La *Laterite*, ou pierre à briques de Buchanan, ressemble au trass du Rhin, au peperino et à la pouzzolane d'Italie. Elle s'étend à Malacca, à Siam, à Sumatra, à Singapore, etc. Elle couronne les sommets les plus élevés des Ghauts orientales et occidentales, et a une épaisseur moyenne de 100 pieds anglais (30 mètres) formant des collines mollement arrondies ou de larges terrasses, et quelquefois elle s'étend en larges nappes ayant de quelques pouces à 250 pieds anglais (76 mètres) d'épaisseur, qui se terminent par des escarpements verticaux et sont coupées par des vallées qui serpentent comme des rivières et présentent un fond plat. Les cavernes ne sont pas rares dans cette roche. A Travancore on trouve dans les escarpements de laterite des couches de lignite de 50 à 60 pieds anglais d'épaisseur (15 à 18 mètres).

Terrains pliocène et miocène. — Dans la chaîne salifère du Punjaub, la couche la plus élevée contient des ossements d'éléphant, de cheval, de bœuf, de grande antilope, d'hyène, etc., et peut être considérée comme la prolongation de la formation de Sevalik. Sur la surface de la plaine située entre le territoire britannique et le Thibet, on voit s'étendre un dépôt à blocs erratiques contenant des ossements d'hippothérium, de rhinocéros, d'éléphant, et de divers ruminants. Des ossements de mastodonte et d'autres mammifères se trouvent dans le Périn, ainsi que dans le golfe de Cambay et dans le territoire du Nizam.

Terrain éocène. — L'argile de la falaise de Caribari, dans le nord-est du Bengale, a été décrite par M. Colebrook comme ressemblant à l'argile de Londres et comme contenant des coquilles, des palais de poisson et des défenses épineuses semblables à ceux de l'argile

de l'île de Sheppy (à l'embouchure de la Tamise). M. le major Fulljames décrit une argile avec septaria comme celle de Londres, qu'on a rencontrée en creusant un puits au nord de Gongo; on l'a atteinte à la profondeur de 35 pieds anglais (11 mèt.) et elle n'était pas complétement traversée à la profondeur de 356 pieds anglais (109 mètres). Une argile, avec des coquilles analogues quant aux genres à celles du bassin de Londres, a été trouvée sur les bords de l'Irawadi, dans le pays des Birmans. Des coquilles silicifiées ont été trouvées par M. Voysey entre deux assises de trapp, dans le Deccan. Des fragments de silex chert et de pierre argileuse contenant du sable et des coquilles d'eau douce (des genres Bulime, Succinée, Unio, Mélanie, Lymnée, Physe, Paludine, et des débris de Cypris et de Chara) se trouvent enveloppés dans le trapp et répandus sur sa surface dans les Sichel hills.

Des couches à nummulites entourent le golfe Persique, suivent la chaîne de l'Elborus, et le plateau de l'Iran, atteignent les montagnes du Caubul et l'Himalaya occidental, descendent la chaîne de Soleyman et suivent celle de Hala jusqu'à l'embouchure de l'Indus : elles continuent ensuite à l'est le long du flanc de l'Himalaya jusqu'au confluent du Gange et du Brahmapoutra. Elles ont été suivies sur 25 à 26 degrés en longitude depuis le Belouchistan jusqu'à l'est du méridien de Calcutta et sur 12 degrés en latitude depuis le Runn de Cutch jusqu'au nord de Cashmere.

Terrains crétacés. — Il paraîtrait qu'une branche de la masse principale de la craie s'étend du Taurus au sommet du golfe Persique. Les couches crétacées du Deccan ont été décrites pour la première fois par M. Newbold en 1840. Les fossiles de Pondichéry ont

été reconnus par M. Forbes, comme néocomiens; ceux de Verdachellum et de Trichinopoli, comme les équivalents du grès vert supérieur et du gault. M. d'Orbigny a considéré le tout comme sénonien ou comme de l'âge de la craie. Les collections renfermaient un grand nombre de genres considérés précédemment comme caractéristiques des terrains tertiaires (Cyprée, Olive, Triton, Pyrule, Nérite, et de nombreuses espèces de Volutes); et M. le professeur Forbes en a inféré que ces genres ont apparu plutôt dans les mers orientales que dans celles de l'Europe. Des roches ressemblant au *green-sand* et particulièrement au *Kentish-rag* ont été observées par M. le docteur Jack dans l'île de Sumatra, et de la craie blanche tendre avec échinites à Bencoolen. Des couches crétacées se montrent aussi à Bornéo.

Système jurassique ou oolithique. — *Kelloway Rock* (étage callovien de M. d'Orbigny). Des représentants de cette formation ont été trouvés dans le Cutch par M. le capitaine Grant; ils se composent d'argile schisteuse et de schiste calcaire en couches horizontales, formant des collines couronnées de grès contenant des variétés de la *Trigonia costata*, de l'*Ammonites Herveyi*, etc.

Houille oolithique. — La position relative de la houille de l'Inde a jusqu'ici résisté à toutes les recherches, mais elle peut être classée, peut-être, avec la houille de Brora (en Écosse, houille qui appartient au système oolithique). Dans le Cutch, elle est inférieure au grès de Kelloway et elle est partout traversée par des failles (dykes), par des surfaces de glissement, et par d'autres dislocations.

Argile d'Oxford, fuller's-earth. — Dans la partie de l'Himalaya examinée par M. le capitaine Strachey, les

calcaires et les argiles schisteuses secondaires, parallèles à la chaîne silurienne, ont présenté une épaisseur de plusieurs milliers de pieds. La partie supérieure était presque entièrement composée, en quelques parties, de fragments de coquille dont les espèces ressemblaient aux formes connues dans le cornbrash et le fuller's-earth. Au-dessus de ces couches se trouvent des argiles schisteuses noires, peu solides, avec des nodules durs contenant des Ammonites et des Bélemnites de l'âge de l'oxford-clay; la roche ammonitifère s'étend probablement jusqu'à la partie orientale du Nepaul. Les Ammonites se montrent à une hauteur de 18 à 19.000 pieds anglais (5.483 à 5.788 mètres) et sont, de la part des indigènes l'objet d'un respect superstitieux. La série oolithique forme un élément important dans la constitution géologique de l'Afghanistan oriental et de l'Inde septentrionale. On a reconnu qu'elle s'étend au sud depuis le Cutch le long de la ligne de montagnes qui flanque l'Indus et qu'elle forme l'escarpement du plateau de l'Afghanistan jusqu'à la chaîne salifère du Punjaub supérieur. Les roches de la série oolithique ont été observées le long de la route du Caubul et au nord de cette ville. Au nord des grands pics neigeux de l'Himalaya, elles suivent le bord méridional du plateau du Tibet.

Dans le Rajpootana on trouve un grand nombre de marbres d'espèces particulières dont sont bâtis le Taj-Mahal et les palais de Jodpoor. Parmi ces marbres on rencontre une lumachelle ou marbre à coquilles opalines de l'âge jurassique probablement; dans le Deccan on trouve des marbres blancs qui doivent être métamorphiques et se présentent partiellement. De nombreuses couches de gypse se rencontrent dans la présidence de

Madras, mais leurs relations sont incertaines. Le grès à diamants de Golconde est une brèche plus ou moins compacte, rouge et blanche, sans fossiles; son âge exact est inconnu. Des sources salées surgissent souvent du grès ou dans son voisinage. Avec le calcaire qui lui est sous-jacent, ce grès couvre de larges surfaces en couches presque horizontales; mais sur le bord des plaines de Cuddapah il s'élève en couches fortement inclinées, appuyées immédiatement sur le granite. On assure que des traces de houille existent dans le grès à diamants au nord-ouest de Nagpoor et s'y trouvent abondamment le long de la vallée de la Nerbudda.

Houille de Burdwan. — A Burdwan la houille a un caractère schisteux. Les genres de plantes qui l'accompagnent sont en partie connus en Angleterre, d'autres le sont en Australie, d'autres sont particuliers à la localité. Parmi les genres connus en Angleterre, quatre se trouvent dans le terrain houiller, savoir : les genres Sphénophyllum, Poacites, Calamites et Pécoptéris.

Terrain jurassique du Deccan. — MM. Hislop et Hunter ont constaté que le grand dépôt de trapp des Ghauts occidentales repose sur un grès avec débris végétaux, principalement de Fougères, Pécoptéris, Cycloptéris, Sphénoptéris, Équisétites, nombreuses espèces de Glossoptéris et la *Vertebraria indica* qui caractérise aussi les couches de Burdwan. On a trouvé à Godavery le *Lepidotus deccanensis*, rapporté par sir Philippe Edgerton à l'oolithe inférieure ou au lias.

Trias. — Nouveau grès rouge, marne rouge. Le grès des Bandair Hills et de Sagar est rapporté à cette formation. D'après M. James Hardie, le nouveau grès

rouge peut être suivi à travers le Baralpur, au nord à travers le Delhi, où on peut le rattacher aux roches contenant du gypse et du sel gemme dans le Lahore, le Moultan, etc., et au sud vers le Cutch et peut-être jusqu'en Perse, formant une zone autour de la grande formation élevée de l'Inde centrale et séparant cette formation des roches primordiales. Le muschelkalk a été observé par M. le capitaine Strachey, au nord de la vallée de Niti dans l'Himalaya. Ses fossiles ressemblent à ceux de Saint-Cassian, mais les espèces sont toutes distinctes. On a recueilli trente-cinq espèces appartenant aux genres Cératite, Goniatite, Ammonite, Spirifer, Térébratule, Chonetes (?), Peigne, Pholadamie.

Calcaire carbonifère. — Les restes organiques recueillis par M. le Dr Fleming, près de la base de l'escarpement de la chaîne salifère, dans l'Himalaya, renferment le *Productus cora* et l'*Athyris Royssii*.

Terrain dévonien (?). — Chaîne de Kala ou chaîne salifère. Le sel est principalement extrait de la chaîne entre le Jhelum et l'Indus. D'après M. le Dr André Fleming, la marne rouge gypsifère avec le sel gemme se trouve à la base même de la section au-dessous des argiles schisteuses, bitumineuses, avec lignites et calcaires carbonifères, et il la place parmi les roches dévoniennes. Cependant du sel gemme impur et des sources salées se montrent dans les chaînes extérieures de l'Himalaya, dans des couches regardées comme éocènes. Les argiles schisteuses, bitumineuses renferment en abondance des pyrites de fer, au moyen desquelles on prépare de l'alun, exactement comme à Whitby. La fabrication a été poursuivie par les ancêtres de ceux qui y sont occupés en ce moment pen-

dant huit générations. On n'a pas trouvé de fossiles dans les couches salifères du Punjaub.

Terrain silurien. — Les régions les plus élevées de l'Himalaya fournissent un grand nombre de formes de Trilobites, de Mollusques et de Zoophytes caractéristiques de la période silurienne et très-analogues à celles d'Europe, sans qu'aucune, peut-être, soit identique avec ces dernières.

Dans la discussion qui suivit la communication de M. Greenough, M. le professeur Sedgwick insista sur l'importance de l'étude des caractères minéralogiques et de la structure physique des terrains, et il soutient que, sans cette étude, la géologie n'aurait jamais existé, et que l'ordre de succession des couches n'aurait jamais été découvert, quoique les Cuvier et les Owen eussent restitué tous les animaux qui ont existé depuis l'origine des choses. Il est resulté des écrits trouvés après la mort de sir Joseph Banks, que le révérend professeur Mitchell, de Cambridge, avait déterminé la succession des couches du sol britannique, même avant que William Smith eût fait sa grande généralisation. Dans le moment actuel, les recherches de pure géologie physique pourraient être de la plus grande importance, non-seulement au point de vue scientique, mais dans leurs conséquences relativement à tous les objets utiles à la vie de l'homme.

M. le professeur Phillips rappela le soin scrupuleux avec lequel M. Greenough avait examiné pendant de longues années la structure minéralogique des terrains, et il observa que ce serait une grande erreur que de séparer cette branche de recherches de l'étude des fossiles, ou de négliger l'une ou l'autre.

M. le professeur Forbes déclara, au sujet des listes de fossiles contenues dans le travail de M. Greenough, que toutes les identifications d'espèces de fossiles de l'Inde, avec des espèces de fossiles britanniques méritaient vérification.

Sir Phillip Egerton fit connaître le résultat de l'examen fait par lui de ce qui avait été envoyé à la section comme *une dent fossile de l'Inde* par M. S. Oldham. D'après l'examen auquel il s'était livré, il était convaincu que ce débris organique n'était pas une dent, mais une écaille dorsale de quelque grand poisson ganoïde, dont l'espèce n'avait pas encore été déterminée.

M. Élie de Beaumont a mis sous les yeux de l'académie des sciences la *carte physique et géologique de l'Inde britannique*, publiée par M. Greenough (*voir* Comptes rendus, tome XXXIX, page 796, et tome LX, page 347, séances du 23 octobre 1854 et du 12 février 1855). M. le Secrétaire perpétuel a donné en même temps des détails sur la géologie de l'Inde et sur ses systèmes de montagnes.

BULLETIN.

DEUXIÈME SEMESTRE 1854.

Sur le lignite de Cadibona.

Turin, le 31 janvier 1855.

Il existe dans les États Sardes, située à proximité du littoral de la Méditerranée, une mine de charbon minéral dont l'exploitation vient d'acquérir un développement assez considérable pour être, en maintes circonstances, d'une assistance efficace aux bâtiments à vapeur qui fréquentent les ports de la rivière de Gênes. C'est à ce titre, monsieur le ministre, que j'ai l'honneur de transmettre à Votre Excellence les informations suivantes sur la richesse, la nature et les qualités particulières du produit dont il s'agit.

La mine de Cadibona, qui est le nom du lieu où est située cette exploitation, contient en abondance le combustible appartenant à l'espèce des lignites. Elle fut découverte à l'époque où les États Sardes faisaient partie intégrante de l'Empire français, et était alors comprise dans le département de Montenotte, ayant pour chef-lieu Savone, le port le plus important parmi ceux qui avoisinent Gênes. L'autorité impériale, chargée de l'administration de ce département, s'efforça, dès le principe, de faire retirer de cette source de produit les avantages qu'elle lui attribuait déjà, et contribua puissamment à préparer à la mine de Cadibona le développement qu'elle a atteint aujourd'hui, après une longue stagnation, et sous l'influence des besoins nouveaux que les circonstances actuelles rendent encore plus pressants.

Le charbon minéral, qui est néanmoins le plus en usage dans les États Sardes, par suite des effets de l'habitude, provient, presque exclusivement, de l'Angleterre, et revient en

ce moment, pris au port de débarquement à Gênes, à 55 francs la tonne, tandis que le lignite de Cadibona coûte, transporté du lieu d'extraction à Savone, 17 francs la tonne.

Ce dernier combustible, dans son état naturel, se trouve, il est vrai, associé à des pyrites et à des matières terreuses qui en affectent la puissance calorifique, mais un lavage permettrait de le débarrasser des pyrites. De plus, en mélangeant le lignite de Cadibona avec du charbon de qualité supérieure, en modifiant légèrement les grilles et les appareils dans lesquels il se consomme, on pourrait procurer une économie notable sur les dépenses qu'occasionne l'usage exclusif de la houille anglaise.

L'examen des propriétés particulières au lignite de Cadibona a constaté que la pesanteur spécifique de ce combustible est de 1.150, et sa puissance calorique théorique est évaluée à 4.700 calories; celle du charbon anglais étant exprimée par 6.300: d'où il résulte que 4 tonnes du charbon de Cadibona, coûtant 68 francs, produiraient l'effet utile de 3 tonnes de houille qui, pour les localités dont il s'agit reviennent à 165 francs.

Extrait d'une lettre adressée, par M. le Duc de GRAMONT, *ministre de France à Turin, à M. le ministre des affaires étrangères.*

Découverte de lignite près de Candie.

La Canée, les 12 et 22 août 1854.

Depuis plusieurs années on avait constaté dans l'arrondissement de Retimo l'existence d'une couche de lignite. L'exploitation de cette couche avait même été commencée, mais comme le lignite extrait s'enflammait spontanément par suite de son mélange avec une grande quantité de pyrite, on ne tarda pas à abandonner cette exploitation.

Le 12 août 1854, à trois heures de distance de Retimo, on a trouvé une nouvelle couche d'un lignite qui paraît être de bonne qualité.

M. le capitaine de frégate Coreil a fait l'essai de ce lignite qui a été employé au chauffage du bâtiment à vapeur qu'il commande. Cet essai a montré que le lignite de Retimo brûle avec facilité, en donnant une odeur prononcée d'acide sulfu-

reux. Sa fumée est moins épaisse que celle de la houille anglaise et sa consommation dans le même temps est supérieure d'un sixième.

Le transport de ce lignite ne peut encore se faire qu'à dos de mulet, mais si l'on constate que le gisement de Retimo donne un combustible de bonne qualité, il sera nécessaire de construire une route depuis le lieu d'extraction jusqu'au port d'embarquement.

Plus récemment, et vers le 22 août 1854, une nouvelle mine de lignite a encore été découverte près de Candie.

Le pacha gouverneur a demandé à Constantinople que des ingénieurs fussent immédiatement chargés d'étudier ces gisements de lignite.

D'un autre côté, il y a lieu de croire que M. le consul d'Angleterre a écrit à Constantinople et à Londres pour suggérer l'exploitation de ces mines par une compagnie anglaise : l'exploitation d'un lignite pouvant servir à la navigation à vapeur rendrait en effet de grands services aux armées et aux flottes alliées dans la mer Noire, et les circonstances actuelles lui donneraient une importance toute spéciale.

Extrait de lettres de M. CHATRY DE LA FOSSE, *consul de France à la Canée, adressées à M. le ministre des affaires étrangères.*

Importation et exportation du cuivre, de l'étain, du zinc et du plomb en Angleterre pendant l'année 1854 (*).

Londres, le 29 juillet 1854.

En ce qui concerne le cuivre, l'Angleterre a reçu de l'étranger : Cuivre.

1° 45,285 tonnes de minerai de cuivre dont les deux tiers environ sont entrés en franchise, le droit qui frappait ce minerai à l'importation ayant été supprimé à partir du 4 juin de l'année dernière;

(*) Voir, pour plus de détails, *Return to an Order of the Honourable The House of Commons dated to February* 1854, *Copper, etc.* — *Return of Imports and Exports of Lead ore.* — *Return to an Order of the Honourable the House of Commons dated* 15 *June* 1854.

2° 5.107 tonnes de matte cuivreuse;
3° 2.376 tonnes de cuivre brut et de cuivre rosette;
4° 807 tonnes de vieux cuivre;
5° 2.843 tonnes de cuivre en barres et en lingots;
6° Enfin, 501 tonnes de cuivre en plaques et billion.

Quant aux cuivres ouvrés, il en a été importé pour une valeur de 114,825 francs jusqu'au 4 juin 1853; depuis cette époque jusqu'au 5 janvier suivant, les ports anglais en ont reçu 21.100 kilogrammes La substitution du poids à la valeur déclarée comme base de perception du droit d'entrée est la cause de la différeuce qu'on observe dans le mode de supputation. Les quantités les plus considérables de minerai de cuivre importé en Angleterre pendant l'année dernière proviennent de l'île de Cuba et du Chili. Ce dernier pays vient encore avec la Russie au premier rang des nations auxquelles le commerce britannique a demandé le cuivre brut en lingots et en barres. La France, après la Hollande, a fourni pour la plus grande valeur de cuivre ouvré. Les articles de cette catégorie, qui avant la dernière réforme du tarif étaient taxés à raison de 10 p. 100 *ad valorem*, sont soumis, depuis le 4 juin 1853, à un droit de 10 sh. par quintal.

A l'exportation, le cuivre d'origine britannique présente un total de 15.632 tonneaux. On trouve d'ailleurs qu'il a été réexporté environ 30 p. 100 du cuivre étranger entré à l'état de cuivre rosette, de barres, de produits fabriqués, etc., tandis que les minerais et les vieux cuivres sont restés presque entièrement en Angleterre.

Étain. La quantité d'étain importée en Angleterre s'est élevée à 2.487 tonneaux, sans comprendre dans ce chiffre 156 tonneaux de minerai et de régule d'étain. L'exportation est légèrement inférieure; son total n'a atteint, en effet, que 2.359 tonneaux répartis d'une manière presque égale entre l'étain des mines anglaises et celui des provenances étrangères.

Zinc. Les fabriques anglaises ont reçu, en 1853, 23.418 tonneaux de zinc étranger tiré principalement de la Prusse, de la Hollande, de la Belgique, et 342 tonneaux d'oxyde de zinc.

Il a, d'autre part, été expédié des ports du Royaume-Uni 12.642 de zinc dont 3.181 tonneaux d'origine anglaise. Les envois faits à la France se sont montés à 8.084 tonneaux de provenance étrangère.

Plomb. L'importation du plomb en saumons ou en feuilles s'est

élevée, pendant l'année dernière, à 17.564 tonneaux et celle des minerais de plomb à 733 tonneaux. L'Angleterre a reçu, en outre, 31 tonneaux de carbonate de plomb : quant au minium et au chromate de plomb, ils ne figurent que pour mémoire dans le document qui fait ressortir le mouvement du commerce de ce métal.

Newcastle prend la part la plus active dans l'importation du plomb. Il prime Londres de près de 10 p. 100 et, réunis, les chiffres qui appartiennent à ces deux ports contribuent à l'ensemble général dans une proportion de 84 p. 100.

C'est principalement d'Espagne que l'industrie anglaise tire le plomb étranger. Les envois de cette contrée en métal brut et en minerai atteignent un chiffre de 15.062 tonneaux, soit 82 p. 100 de l'importation générale. La France, qui vient au second rang, ne prend une part que d'environ 5 1/2 p. 100, soit 1.013 tonneaux.

L'exportation est légèrement supérieure à l'importation, et un fait digne de remarque, c'est que la presque totalité du plomb expédié à l'extérieur sous forme de lingots, de feuilles ou de balles est d'origine anglaise, le métal brut de provenance étrangère ne figurant dans l'ensemble de ce mouvement de 18.168 tonneaux que pour 1.438 tonneaux, moins de 8 p. 100. Quant aux sels et oxydes de plomb, ce sont uniquement des produits de l'industrie britannique, et ils présentent un total de 2.869 tonneaux.

C'est vers les États-Unis que le commerce anglais a exporté la plus grande quantité de plomb brut, 6.273 tonneaux; la Russie en a reçu 2.991 tonneaux et la France 1.217 tonneaux, chiffre de très-peu supérieur à celui de sa propre exportation en Angleterre.

Extrait d'une lettre adressée par M. Herbet, *consul général de France à Londres, à M. le ministre des affaires étrangères.*

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME SIXIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages.

Rapport sur la partie géologique de l'exposition de New-York ; par M. *Ch. Lyell* et *J. Hall* (traduit par M. *Langel*, ingénieur des mines). 1

Note sur la cristallisation de la brongniardite, espèce minérale ; par M. *Damour*. 186

Description des gîtes métallifères de la Lozère et des Cévennes occidentales ; par M. *Lan*, ingénieur des mines. 401

Notice sur la perowskite de Zermatt, par M. *Damour*. . 512

Extraits de minéralogie (travaux de 1853 et 1854) ; par M. *de Senarmont*, ing. en chef des mines, professeur à l'École des mines. 562

Sur la géologie de l'Inde, d'après M. Greenough (traduit par M. *Élie de Beaumont*). 577

CHIMIE.

Note sur les procédés de dosage du cuivre dans les minerais et les produits d'art ; par M. *L.-E. Rivot*, ingénieur des mines, professeur à l'École des mines. 125

Des procédés d'analyse qui peuvent être employés pour les terres végétales, les amendements et les engrais ; par M. *L.-E. Rivot*, ingénieur des mines, professeur à l'École des mines. 235

Extraits de chimie (travaux de 1853 et 1854) ; par M. *L.-E. Rivot*, ingénieur des mines, professeur à l'École des mines. 523

MÉTALLURGIE ET MINÉRALOGIE.

Notice sur les moyens employés pour absorber complétement les vapeurs acides qui se dégagent dans la fabrication des produits chimiques à l'usine de Saint-Roch-les-Amiens ; par M. *de Marsilly*, ingénieur des mines. 100

Recherches sur l'influence du soufre sur le fer et sur l'influence du phosphore neutralisant en partie cette action du soufre, par M. *Janoyer*. 149

Pages.

De la présence de l'iridium dans l'or de Californie; par *H. Dubois*. 518

MÉCANIQUE.— EXPLOITATION.

Rapports, et avis de la commission centrale des machines à vapeur, sur l'explosion du bateau à vapeur *le Creuzot n° 2* 84

Rapport sur une explosion d'hydrogène carboné dans les travaux d'une mine de fer; par M. *Castel*. 94

Rapport sur les mines de houille d'Héraclée; par MM. *Garella* et *Huyot*. 173

Découverte de lignite à Nossi-Bé et sur la côte occidentale de Madagascar. 570

CONSTRUCTION ET CHEMINS DE FER.

De la construction des machines locomotives très-puissantes et à petite vitesse; des locomotives du système Engerth, et de leur application projetée à la traction des marchandises sur quelques chemins de fer français; par M. *C. Couche*, ingénieur des mines, professeur à l'École des mines. 343

DRAINAGE.

Études sur le drainage en France, dans ses rapports avec la météorologie et la géologie; par M. *H. de Villeneuve*, ingénieur des mines, professeur à l'École des mines. . 293

BULLETIN.

(2e semestre 1854.)

Sur le lignite de Cadibona, 579.—Découverte de lignite près de Candie, 580. — Importation et exportation du cuivre, de l'étain, du zinc et du plomb en Angleterre pendant l'année 1854, 581.

Table des matières du tome VI. 592

Explication des planches. 594

Errata. 596

Annonces d'ouvrages concernant les mines, etc., publiés pendant le 2e semestre 1854. . . . . I-VI

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME SIXIÈME.

Pl. I. Pages.

Fig. 1, 2, 3, 4. *Explosion du bateau à vapeur* le Creuzot n° 2 84

Fig. 5, 6, 7. *Absorption des vapeurs acides.* 100

Fig. 5. Bonbonne à cascade pour l'acide chlorhydrique.

B, Tubulure pour l'entrée des gaz qui ont déjà traversé une série de vases contenant de l'eau.
B'. Tubulure de sortie de gaz.
C. Coke en gros morceaux dans l'intérieur de la bonbonne.
D. Tuyau qui amène de l'eau de chaux d'un bassin.
R. Robinet pour régler l'écoulement.
G. Godet dans lequel tombe l'eau; il est traversé par un tuyau en plomb percé à son extrémité de petits trous par où l'eau s'échappe comme d'une pomme d'arrosoir.
H. Tuyau pour l'écoulement de l'eau.
K. Couvercle de la bonbonne avec fermeture hydraulique.

Fig. 6. *Bouteille pour l'absorption des gaz qui sortent des chambres de plomb.*

M. Tubulure pour l'entrée des gaz venant des chambres de plomb.
M' Tubulure pour la sortie.
N. Eau pour l'absorption.
S. Tube courbé déversant le trop plein du premier vase dans le deuxième.

Fig. 7. *Plan.*

A, A'. Petits murs en briques sur lesquels sont posés les vases absorbants qui reçoivent les gaz venant de la calcine du premier four où s'opère la décomposition du sel marin.
C, C. Bonbonnes à cascade, placées à la suite des vases absorbants; l'eau qui en sort se rend dans le bassin D.
B, B', B''. Petit mur en briques sur lequel sont posés les vases absorbants qui communiquent avec la cuvette du premier four.
c, *c*, *c*, *c*. Quatre bonbonnes à cascade pour l'absorption de l'acide hydrochlorique; l'eau qui s'écoule se rend dans le bassin D.
D. Bassin qui reçoit les eaux des bonbonnes à cascade, correspondant au premier four.
A, A'. Tréteaux pour les vases absorbants, communiquant avec la calcine du deuxième four.

Pages.

B, B', B''. Tréteaux pour les vases absorbants, communiquant avec la cuvette du deuxième four.
c, c. Bonbonnes à cascade.
D. Bassin.
Mêmes dispositions pour le troisième four.
Les eaux des bassins D, D, D, s'écoulent dans le puits absorbant P, par le conduit souterrain R.

Fig. 8 et 9. *Description du bassin houiller d'Héraclée.*

Fig. 8. Situation topographique du bassin houiller d'Héraclée (Asie-Mineure). 175

Fig. 9. Plan du bassin. 175

Pl. II. *Du drainage, dans ses rapports avec la météorologie et la minéralogie.* 295

(La planche renferme toutes les indications nécessaires pour l'intelligence des figures.)

Pl. III et IV. *Construction des locomotives très-puissantes et à petite vitesse.* 315

(Voir l'explication des figures placée à la suite du mémoire.)

Pl. V. *Carte géologique de la contrée métallifère comprise entre la Lozère et les Cévennes.* 401

Pl. VI. *Fig.* 1 à 4. *Influence du soufre et du phosphore sur les propriétés mécaniques du fer.* 156

Fig. 5 à 19. *Formes de minéraux.*

Fig. 5. Forme de la partschine d'Olaphian. 563

Fig. 6. Forme de l'iodure d'argent de Coquimbo. 563

Fig. 7. Forme de la Descloizite. 564

Fig. 8. Forme de la Woehlerite. 564

Fig. 9. Forme de la Datholite. 565

Fig. 10. Forme du mica du Vésuve. 566

Fig. 11. Clinochlore mâclé d'Achmatowsk. 567

Fig. 12, 13, 14, 15. Formes habituelles des petits cristaux de chlinochlore d'Achmatowsk. 567

Fig. 16 à 19. Autres formes du même minéral. 567

FIN DU TOME SIXIÈME.

ERRATA.

—

Page 19, ligne 2, au lieu de *Dance*, lisez : *Dana*.

Page 19, ligne 3, au lieu de *T.-D. Dance*, lisez : *J.-A. Dana*.

Page 64, ligne 4, au lieu de : *les roches altérées de la période, etc.*, lisez : *les roches non altérées de sa période, etc.*

Page 74, ligne 5, au lieu de *Rassie*, lisez : *Rossie*.

Page 74, ligne 19. *Minerais de zinc*, lisez en note : M. Hall ne croit pas que ces minerais appartiennent à la période des roches métamorphiques supérieures ou d'origine plus récente.

Page 156, ligne 7, au lieu de : Pl. II, *lisez* : Pl. VI.

Page 240, ligne 9, au lieu de : qu'il peut, *lisez :* qu'il faut.

Page 246, ligne 15, au lieu de : sur le récipient, *lisez :* sous la cloche.

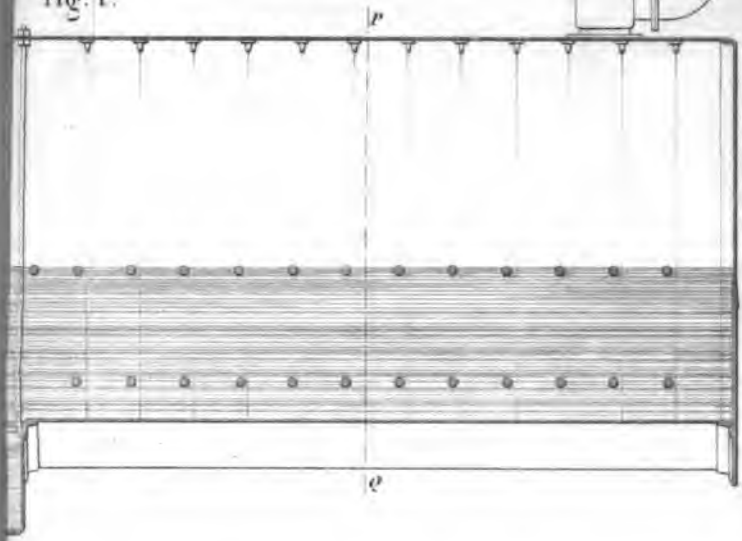
Page 277, ligne 2, au lieu de : en analysé, *lisez :* ou analysé.

Page 280, ligne 17, au lieu de : avec de l'acide sulfurique concentré, *lisez :* avec de l'acide sulfurique concentré et de l'acide sulfureux.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Ce, rue Racine, 26.

du Bateau le Creusot N.° 2

Fig. 1.

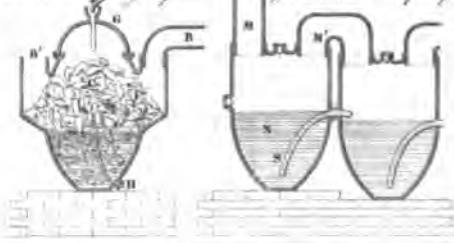


Carte
BASSIN HOUILLER
de Héraclée

Absorption des vapeurs acides

Fig. 5. Bonbonne à boule pour l'acide chlorhydrique

Fig. 6. Bonbonne pour l'acide sulfurique



Disposition générale des Bonbonnes

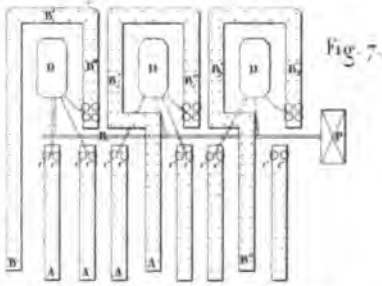
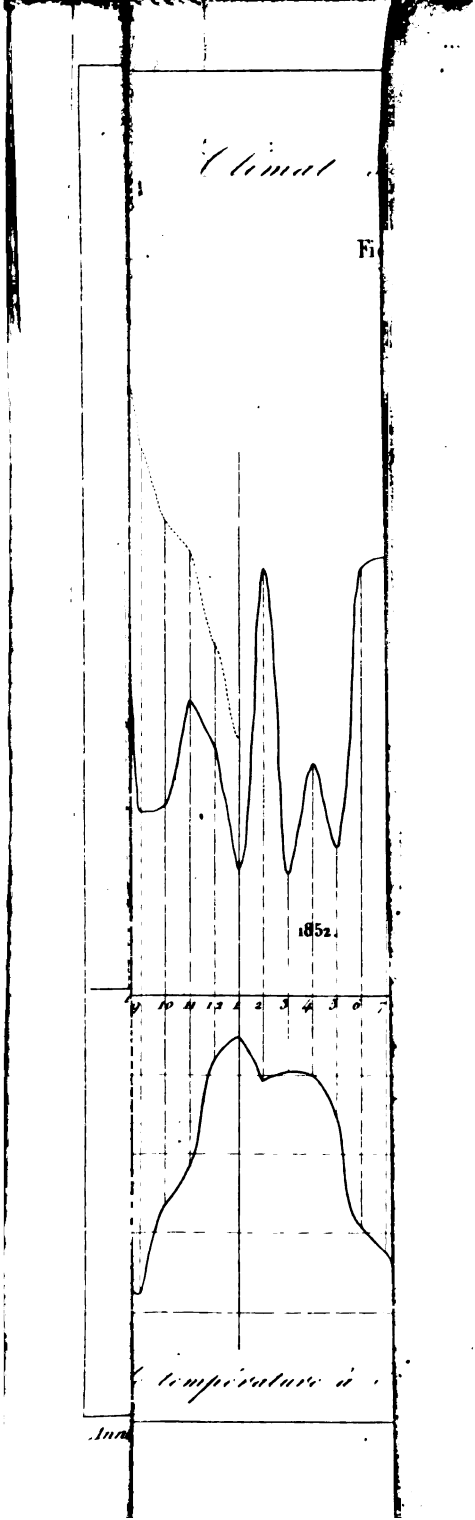
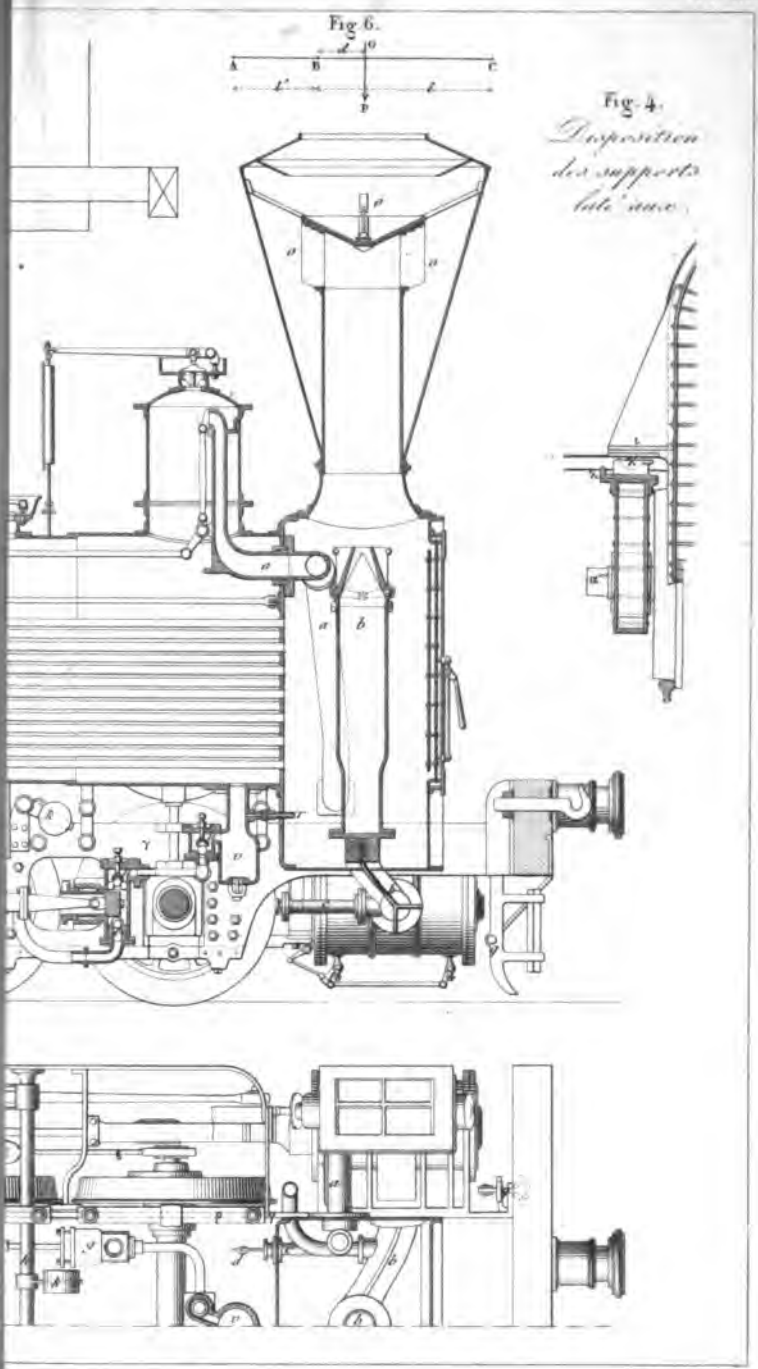


Fig. 7.

Lemaître sc


Climat
Fi
1852.
9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7
Temperature à



Lemaître sc.

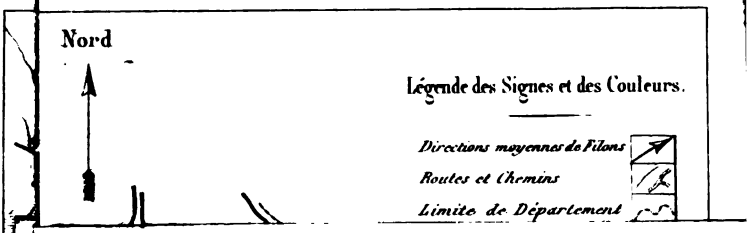

Nord
Légende des Signes et des Couleurs.
Directions moyennes de Filons
Routes et Chemins
Limite de Département

Fig. 5.

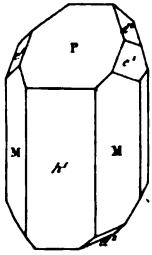


Fig. 9.

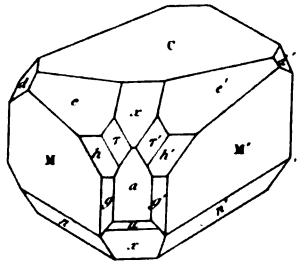


Fig. 10.

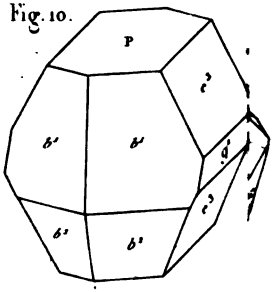


Fig. 14.

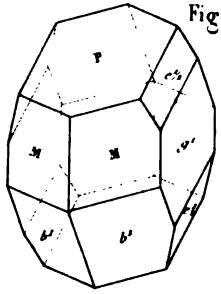
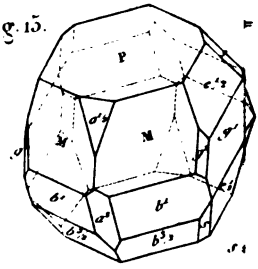
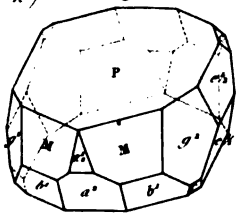


Fig. 15.



= (b½ d¹ h¹)

Fig. 19.



c = (d½ b¹ h¹, s)

Fig. 1. à froid

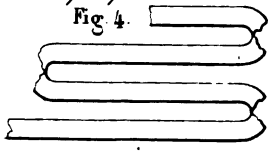
Fer fort mou.

aud

avec une fonte

non phosphoreuse.

Fig. 4.



Lemaitre sc.

Bind as is

WD 8
3 0 7